This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

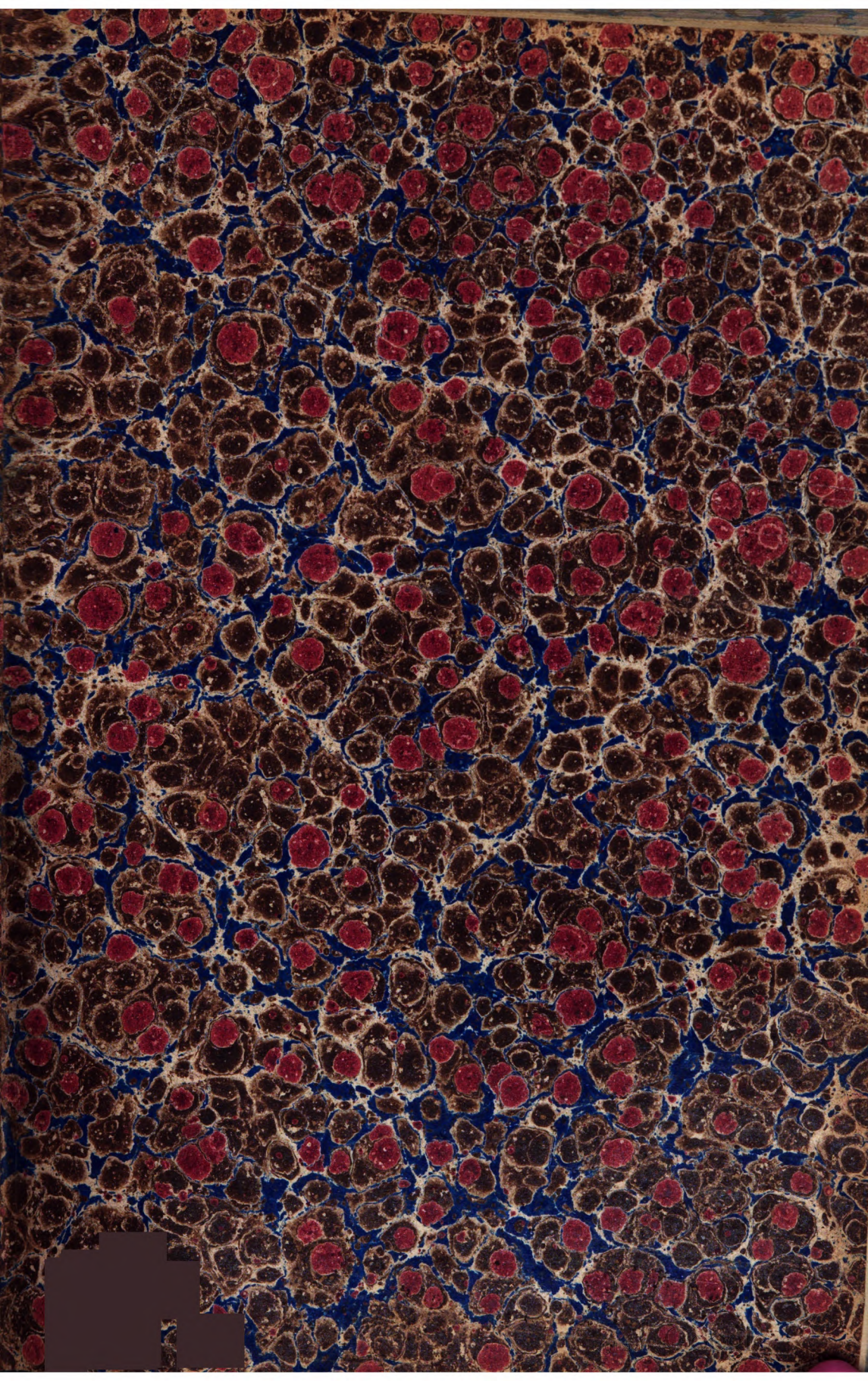
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

Digitized by Google



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
5319401829
D 25353

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

MANUAL DE CAMINOS.

Digitized by Google

Digitized by Google

25353

MANUAL DE CAMINOS,

QUE COMPRENDE SU

TRAZADO, CONSTRUCCION Y CONSERVACION,

POR

EL INGENIERO JEFE

D. P. C. ESPINOSA.

UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

MADRID:—1855.

Imprenta de D. Ramon Ballone, *Arco de Sta. Maria*, 39.

Digitized by Google

Digitized by Google

ADVERTENCIA.

La falta de un tratado especial en que estuvieran reunidas las materias concernientes al trazado y construccion de las carreteras y en el cual los encargados de su direccion, especialmente los subalternos, pudieran adquirir los conocimientos necesarios, nos ha movido á publicar este *Manual*, que podrá suplir aquella falta, aunque sea incompletamente.

Es cierto que hácia 1820 el Sr. D. Francisco Javier Barra, despues director general de caminos, publicó un librito sobre construccion de carreteras, pero en él se limitaba solo á la esplicacion de algunos sistemas de ejecucion de firmes.

El ingeniero D. Ramon del Pino tambien publicó en 1840 un *Tratado* muy útil relativo á la conservacion de carreteras, pero á mas de que la edicion de este libro está agotada, su objeto principal era dicha conservacion.

En fin, el *Manual de caminos vecinales* publicado por D. Ramon Castilla, trata solo algunas cuestiones y con poca estension, no sirviendo para llenar el objeto.

En nuestro *Manual* se ha reunido todo lo concerniente al trazado, á la construccion y á la conservacion de las carreteras, sin dar una estension grande á las materias, con objeto de formar un libro poco voluminoso y económico, pero sin dejar de esponer las de mayor interés é inmediata aplicacion, y aun indicando algunas que con dichos objetos tienen una relacion directa.

Para ello hemos consultado las *Memorias* insertas en los *Anales de puentes y calzadas* de Francia, los escritos de Berthault Ducreux, Dupuits, Gayffier, Endres Lemoine, Mac-Adam, Tregold y otros autores, que se citan en el testo: teniendo igualmente presentes los apuntes recogidos en obras que hemos tenido á nuestro cargo y los datos que hemos podido adquirir de las ejecutadas por otros ingenieros en España.

Creemos contribuir de esta manera á que se generalicen los conocimientos de un ramo tan importante, y si lo conseguimos, quedarán satisfechos nuestros deseos y cumplido el único objeto que nos ha movido á publicar este libro.

Digitized by Google

Digitized by Google

INDICE

DE LAS MATERIAS CONTENIDAS EN ESTE TOMO.

Páginas.

PRIMERA PARTE.

TRAZADO DE CARRETERAS.

PRIMERA SECCION.

Condiciones económicas, comerciales, etc., á que debe satisfacer el trazado. 1

Trazado facultativo. 2

Alineaciones y perfiles.—Configuracion general del terreno.—Disposicion del trazado segun la topografía del terreno.—Paises llanos.—Terrenos quebrados ó montañosos.—Tanteos gráficos del trazado.—Laderas curvas.—Laderas planas.—Laderas separadas por un valle estrecho.—Caso en que haya que atravesar dos rios.—Dadas las curvas de nivel, indicar el trazado gráficamente.—Influencia de las pendientes en los trasportes.—Esfuerzo que tiene que desarrollar el motor.—Fuerza disponible.—Rozamientos.—Pendientes límites.—Influencia del esceso de elevacion de un trazado.—Resistencia del aire.—Fuerza relativa de los animales de tiro —Gastos de trasporte.—Influencia de las curvas en los trazados.—Precauciones que deben adoptarse.—Radio mínimo.

SEGUNDA SECCION.

PLANO Y PERFILES DE LAS CARRETERAS.

Plano. 14

Instrumentos: Teodolito y grafómetro.—Brújula.—Goniómetro.—Stadia.—Anotaciones ó datos que han de adquirirse.—Alineaciones rectas.—Alineaciones curvas.—Trazado de las curvas.—Arcos de círculo.—Trazado del círculo por intersecciones de visuales,—Por abscisas y ordenadas sobre los radios estremos.—Por

Digitized by Google

Páginas.

ordenadas sobre las tangentes.—Por tangentes.—Por medio de las cuerdas del arco.—Por ángulos de deflexion.—Por los senos y senoversos.—Por ordenadas á la cuerda.—Por ordenadas sobre las cuerdas y tangentes.—Hallar los puntos de tangencia del arco con las alineaciones.—Desarrollo de los arcos.—Hallar el punto de la curva mas próximo al ángulo de las alineaciones.—Valor de la flecha.—Hacer que el vértice del arco pase por un punto dado del terreno.—Caso en que el vértice del ángulo de las alineaciones es inaccesible y se da un punto de la curva.—Arcos de parábola: trazado por las cuerdas.—Por intersecciones de visuales.—Curvas arbitrarias.—Por cuerdas.—Curvas de doble vuelta.—Indicacion de las tablas calculadas para el trazado de curvas.

Perfiles. 36

Niveles de aire.—Distancia de las niveladas ó golpes de nivel.—Nivel de agua.—Eclímetro.—Miras.—Observaciones.—Estados de de nivelacion.

TERCERA SECCION.

MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Cubicacion de desmontes y terraplenes. 46

Superficies que limitan un trozo de carretera comprendido entre dos perfiles.—Cotas rojas y negras: puntos de paso.—Cálculo de las líneas de paso.—Métodos gráficos para hallar los puntos de paso.—Cubicacion.—Método del área media de las secciones estremas.—Método de la seccion media.—Método llamado exacto.—Caso de ser la base un triángulo.—Caso en que sea la base del sólido un cuadrilátero.—Caso de ser la proyeccion un trapecio.—Caso de ser la proyecion un triángulo.—Tablas para los cálculos de desmontes y terraplenes.—Equivalencia entre los desmontes y terraplenes.—Forma de los caballeros.

CUARTA SECCION.

OBSERVACIONES RELATIVAS AL PROYECTO DE UNA CARRETERA. , ... 68

Trabajos de campo y de gabinete.—Reconocimientos.—Anteproyectos y proyectos.—Representacion del terreno y objetos: clase del dibujo.

Digitized by Google

Páginas.

SEGUNDA PARTE.

EJECUCION DE LAS OBRAS.

PRIMERA SECCION.

Señalamiento del eje, esplanaciones y rasantes. 73

Operaciones para el señalamiento del eje.—Operaciones para el señalamiento de rasantes.—Empleo de las niveletas.

SEGUNDA SECCION.

EJECUCION DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES.

Desmontes. 76

Movimientos de tierras.—Escavaciones.—Medios de ejecucion de las escavaciones en tierra.—Disposicion de los cortes ó tajos.—Estraccion de las tierras.—Desmontes en roca.—Desmontes sin emplear barrenos.—Esplotacion por medio de la pólvora.—Abrir el barreno.—Instrumentos para abrir el terreno.—Cucharillas.—Enlodado del barreno.—Cargar el barreno.—Atacar el barreno.—Pegar fuego.—Mechas de seguridad.—Esplotacion por cámaras ó cavidades.

Aplicacion del galvanismo á la esplotacion de canteras. 84

Primeras aplicaciones de la pila.—Esplicacion del método.—Modo de obrar el aparato.—Colocacion de la batería y su preparacion.—Ventajas é inconvenientes en la práctica.—Escritos que pueden consultarse.—Herramientas de cantera.

Taludes. 89

Inclinacion de taludes en los desmontes.—Terrenos de acarreo.—En las tierras vegetales.—En las arcillas.—En las rocas.—Inconvenientes de dar gran profundidad á los desmontes en ciertos casos.—Taludes adoptados en algunos paises.—Observaciones sobre la determinacion de taludes.—Ejecucion de los taludes.—Marcar las directrices del talud.

Aparatos mecánicos para desmontar. . 93

Escavador americano.—Arados.

Datos relativos á la mano de obra en las escavaciones. 95

Digitized by Google

Páginas.

Terraplenes. 96

Métodos de ejecucion.—Por capas delgadas.—Por gruesas capas ó crestas.—Aumento de volúmen de las tierras.—Materiales que se emplean en los terraplenes.—Rampas.—Inclinacion de los escarpes y revestimientos.—Refinado de los escarpes.—Cerchones para guiar la construccion.—Coste de los terraplenes.—Observaciones sobre las herramientas.

TERCERA SECCION.

Trasporte de las tierras. 100

Diversos modos de trasportar las tierras.—Conduccion en carretillas.—Cálculo de la carga.—Longitud de las paradas.—Costo de carga y trasporte.—Carga y conduccion en volquetes.—Trasporte de tierras por pendientes con carretillas ó carretones.—Contador para carretillas.—Trasporte en carros.—Cálculo del tiempo de trasporte.—Cálculo del precio de trasporte.—Trasporte en carros por fuertes pendientes.—Resultados de esperiencias.—Recuas.—Detalles sobre la construccion de carretillas.—Trasporte de tierras en wagones y por carriles de hierro.—Disposicion de los cortes.—Descripcion de los wagones.—Carriles movibles.—Límites admitidos para el empleo de los diversos medios de trasporte.—Peso de las tierras y rocas.—Datos tomados de obras estrangeras.—Datos tomados por algunos constructores en España.—Pesos específicos de varios materiales.—Medios mecánicos de subir las tierras.—Obras que pueden consultarse.

Distancia media de los trasportes. . . 121

Direcciones.—Medios de hallar los centros de gravedad en los volúmenes.—Perfiles en desmonte y terraplen.—Simplificacion.—Fórmula para hallar la distancia media de trasporte.—Puntos de que conviene llevar las tierras á los terraplenes segun las circunstancias.—Tierras de préstamos, caminos que han de seguir.—Comparacion de los sistemas de préstamos y de compensacion.

CUARTA SECCION.

CONSOLIDACION DE DESMONTES Y TERRAPLENES.

Consideraciones generales. 125

Medios de evitar las degradaciones superficiales de los taludes. . . . . . id.

Cunetas de circunvalacion y caballeros.—Siembras y plantaciones.

Digitized by Google

Páginas.

—En terrenos movedizos.—Modo de hacer las plantaciones.—Tepes y céspedes.—Revestimientos de mampostería.

Causas de los desprendimientos en los terrenos arcillosos y acuosos, y medios de precaverlos ó repararlos. 130

Propiedades características de los terrenos arcillosos.—Causas de los desprendimientos en los desmontes.—Las superficies de resbalamiento no son preexistentes.—Bases de los procedimientos de consolidacion de desmontes.—Desviacion de las aguas interiores por cuneta ó acueducto esterior.—Salida directa de las aguas interiores al fondo del desmonte.—Revestimientos de los terrenos arcillosos.—Zampeado ó revestido de zanjas.—Pendiente de las zanjas transversales.—Desprendimientos.—Saneamiento en todos los puntos en que hay un terreno permeable sobrepuesto á otro arcilloso.—Filtraciones generales.

Terraplenes. 139

Causas de los desprendimientos en los terraplenes.—Medios de consolidacion.—Terraplen sobre terreno arcilloso.—Consolidacion de los terraplenes arcillosos.—Opinion de Gregory sobre los desprendimientos.—Opinion de Stephenson.—Terraplenes en las márgenes de un rio.—Fortificacion de terraplenes en laderas de montaña.

QUINTA SECCION.

CLASIFICACION DE LAS PARTES QUE CONSTITUYEN LOS PERFILES TRANSVERSALES DE UN CAMINO; SUS FORMAS Y DIMENSIONES; SU CONSTRUCCION. 144

Situacion del plano rasante relativamente al terreno natural.—Anchura del firme y partes accesorias.—Construccion de la caja para el firme.—Preparacion del terreno de la caja del firme segun su calidad.—Roca.—Terrenos arcillosos.—Terrenos pantanosos.—Saneamiento del terreno.—Datos de mano de obra.—Construccion de los paseos ó refuerzos.—Cunetas.—Terrenos necesarios para la carretera.

Digitized by Google

Páginas.

SESTA SECCION.

AFIRMADO DE LAS CARRETERAS.

Historia y descripcion de los diferentes sistemas de afirmado; materiales que se emplean; sus propiedades; coste de los firmes. 155

Observaciones preliminares.—Firmes romanos.—Sistema misto.—Sistema de Tresaguet.—Sistema de Mac-Adam.—Sistema de Telford.—Sistema de Polonceau.—Sistema de Candemberg.—Sistema propuesto por el ingeniero Leon.—Sistema de Berthanlt Ducreux.—Opinion de Dumas.

Carreteras de España. 162

Sistemas seguidos en la construccion del firme.—Sistema seguido en la carretera de las Cabrillas cuando se empezó su construccion.—Sistemas adoptados mas recientemente.

Exámen de los diferentes sistemas de afirmados y reglas generales para su construccion. . . . 164

Grueso del firme.—Tamaño de la piedra.—Machaqueo ó partido en caja ó fuera de ella.—Calidad de la piedra, su influencia en las cualidades del firme.—Exámen de diferentes clases de piedras.—Piedras calizas: sus clases: modo de reconocerlas: sus ventajas é inconvenientes para afirmados.—Granitos: clases: su empleo en afirmados.—Rocas micáceas feldspáticas, anfibólicas y cuarzosas.—Areniscas: sus variedades: sus propiedades para afirmados.—Pórfidos y basaltos.—Piedras heladizas.—Modo de hacer los esperimentos para ver si es heladiza una piedra.—Absorcion de las piedras y permeabilidad.—Pendiente transversal del firme y modo de fijarla en la práctica.—Recebo.—Arena.—Recebos bituminosos.

Costo de mano de obra y materiales de un firme de piedra partida. 182

Subdivision del costo.—Saca y conduccion.—Cálculo de la distancia media.—Comparacion del costo de conduccion de varias canteras.—Datos prácticos.—Gastos de recepcion.—Partido de la piedra; sistemas de verificarlo y datos prácticos.—Colocacion de la piedra en caja; datos prácticos.—Cálculo de la piedra que entra por unidad lineal del firme.

Digitized by Google

Páginas.

Firmes empedrados. 190

Propiedades de los firmes empedrados.—Base y encajonado.—Clases de piedra.—Clases de empedrados.—Construccion del empedrado.—Costo de los empedrados.

Firmes de madera. 196

Firmes de goma elástica. 198

Afirmados de hierro. . . . . . id.

Firmes cerámicos. . . . . . id.

Firmes asfaltados. 199

Composicion y propiedades de las sustancias bituminosas.—Preparacion y empleo de los mastics bituminosos en los firmes y enlosados.—Arreglo del terreno en donde ha de echarse el asfalto.—Espesor del firme y estacion mas conveniente para la aplicacion del asfalto.—Conservacion y reparacion de los firmes asfaltados. Procedimiento en frio.—Procedimiento para la construccion de los firmes bituminosos en frio.—Resbalamiento de las caballerías.—Costo de los firmes asfaltados.

EMPEDRADOS UNIDOS CON BETUN Y APLICACIONES DE ESTE SISTEMA. 211

Aplicacion del sistema anterior: sus ventajas é inconvenientes.

SETIMA SECCION.

OBSERVACIONES RELATIVAS A LAS OBRAS QUE SE CONSTRUYEN EN LAS CARRETERAS PARA EL PASO DE LOS RIOS, ARROYOS, ETC. EDIFICIOS Y DEMAS ACCESORIOS DE ELLAS. 215

Diferentes clases de obras que se construyen.—Puentes, pontones, etc.; eleccion de materiales y sistemas.—Badenes.—Casas de portazgo ó pontazgo.—Casillas de peones camineros.—Almacenes.—Leguarias y señales kilométricas.—Pilastras indicadoras.—Guias.—Guarda-ruedas, malecones y pretiles.—Arbolados.

TERCERA PARTE.

CONSERVACION DE LAS CARRETERAS.

PRIMERA SECCION.

Consideraciones generales. 225

Qué se entiende por conservacion: partes de que consta ó sus divisiones.—Diversas cuestiones de que se tratará relativas á la conservacion de carreteras.

Digitized by Google

Páginas.

Conservacion permanente de los firmes ordinarios ó de piedra partida. 227

Degradaciones del firme, causas y efectos.—Sistemas de conservacion.—Reparacion de las roderas ó *roderado*.—Bacheos.—Medida de los bacheos y datos prácticos.—Rebocado del firme.—Desgaste del firme.—Descantado y remachaqueo.—Estraccion del lodo y polvo.—Estraccion del hielo y de la nieve.—Acopios de material.

Conservacion de las obras de tierra. . 238

Desembroce y rectificacion de cunetas.—Recargo ó recrecido y rectificacion de paseos.—Reparacion de taludes ó escarpes.—Limpia de las obras de fábrica.

Reparacion ó conservacion periódica. . 240

Sistema de conservacion misto. 241

Conservacion de firmes empedrados. . 243

Métodos que se emplean.—Reparar por trozos.—Hundimientos de piedras ó piezas.

SEGUNDA SECCION.

HERRAMIENTAS Y UTILES QUE SE EMPLEAN EN LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS. 244

Carretillas.—Palas.—Rastras.—Azadas.—Piquetes ó clavos.—Cuerdas.—Escobas y espuertas.

Herramientas de empedrador. 246

Rascador ó piquetilla.—Palanca ó alzaprima.—Retundidor.—Martillos de empedrar.—Pisones.—Aparato para medir la profundidad de los baches.—Carretilla de empedrador.

Aparatos mecánicos. 248

Escoba mecánica.—Rastra mecánica.—Otra escoba mecánica.—Carretilla barredora.—Rastra de Olivier.—Carro de desenlodar de Chardot.—Carros de riego.

TERCERA SECCION.

GASTOS DE CONSERVACION. 256

Descomposicion de los gastos de conservacion.—Desgaste del firme.—Cantidad de desgaste.—Métodos para medir el desgaste y

Digitized by Google

Páginas.

gasto de material.—Mano de obra que corresponde al desgaste.—Mano de obra en los accesorios del firme.—Gastos de vigilancia.—Gasto total de conservacion.

CUARTA SECCION.

EFECTOS PRODUCIDOS POR LOS CARRUAJES Y CABALLERIAS SOBRE LOS FIRMES Y SU INFLUENCIA PARA ESTABLECIMIENTO DE PORTAZGOS. 268

Observaciones sobre las cuestiones que han de tratarse.—Esperimentos de Morin.—Influencia del diámetro de las ruedas.—Influencia del ancho de las llantas y cargas.—Influencia de la velocidad.—Investigaciones de Courtois.—Accion de los carruajes.—Accion de las caballerías.—Resúmen.—Resultados de varias opiniones.—Opinion de Dupuit sobre la industria de trasportes.—Observaciones de Berthault Ducreux.—Dictámen de la comision francesa.—Conclusiones.

QUINTA SECCION.

DESCRIPCION Y EXAMEN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE AFIRMADOS CONSTRUIDOS EN DIVERSAS CAPITALES. 278

Afirmados de las calles de Lóndres.—Empedrado Taylor.—Empedrados con carriles de losas.—Firmes á la Mac-Adam.—Gastos de construccion y conservacion.—Firmes de madera.

Afirmados de Paris. 285

Sistema administrativo y directivo.—Empedrados.—Afirmado de piedra machacada.—Firmes bituminosos.—Limpieza de las calles.

Observaciones sobre los sistemas de afirmados de las carreteras por el ingeniero Baudemoulin. 288

Empedrados de Nápoles, Florencia y Milan.—Anàlisis de los sistemas de afirmados de las calles de Paris y comparacion con los anteriores.

SESTA SECCION.

ORGANIZACION DEL SERVICIO DE CONSERVACION DE LAS CARRETERAS. 292

Exámen de diversos sistemas de organizacion.—Sistema de peones fijos y auxiliares.—Longitud de los trozos de carretera de cada peon.—Organizacion del servicio de conservacion en España.—Organizacion en Francia y Alemania.—En Inglaterra.

Digitized by Google

Páginas.

CUARTA PARTE.

DEL CILINDRO COMPRESOR Y DE SUS APLICACIONES.

PRIMERA SECCION. 302

Materiales de que se construye.—Origen de las aplicaciones.—Esperimentos con cilindros de pequeño diámetro.—Cilindros de gran diámetro.—Modificaciones introducidas en los cilindros compresores.—Cilindro de Haugeau.—Cilindro de Regnault.—Empleo del cilindro en España.

SEGUNDA SECCION.

RESÚMEN DE LAS REGLAS QUE DEBEN TENERSE PRESENTES PARA EL EMPLEO DEL CILINDRO COMPRESOR. 310

Clase y dimensiones del cilindro.—Carga del cilindro y número de pasos.—Recebado.—Estaciones convenientes para cilindrar.—Servicio del cilindro y anotaciones que deben tomarse.—Efectos del cilindrado: su influencia en los gastos de conservacion de firmes ordinarios.—Empleo del cilindro en la conservacion de empedrados.

QUINTA PARTE.

PRIMERA SECCION.

OBSERVACIONES SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE EJECUCION DE LAS OBRAS EN SU PERFECCION Y ORGANIZACION DE TRABAJOS. 319

Sistemas de ejecucion.—Qué obras conviene ejecutar á jornal, por ajustes, destajos, etc.—Detalles sobre los diferentes medios de ejecucion de cada clase de obras.—Aplicacion de los confinados á las obras.

SEGUNDA SECCION.

DOCUMENTOS RELATIVOS Á LA ORGANIZACION DE TRABAJOS. . . . 331

SESTA PARTE.

DE LOS CARRUAJES Y ANIMALES DE TIRO EMPLEADOS EN LOS TRASPORTES. 343

Observaciones generales.—Inveatigaciones de Courtois.

Digitized by Google

Páginas.

De los carruajes. 344

Clasificacion de los carros de trasporte.—Ventajas é inconvenientes respectivos.—Ruedas.—Relacion entre el peso muerto y el útil.—Resistencias que se oponen á la marcha de los carruajes.—Fórmulas para hallar las resistencias.—Aplicacion de las fórmulas.

De las caballerías de tiro. 356

Disposicion y número de las caballerías en los tiros.—Esfuerzo desarrollado por las caballerías: fórmulas generales.—Pruebas de agilidad, fuerza, etc., de las caballerías.—Investigaciones de Desviliers sobre la fuerza de tiro y resistencias.—Esperimentos de Morin.

NOTAS.

PRIMERA.

RESÚMEN DE LAS OPERACIONES DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS EN LAS DIVERSAS ESTACIONES DEL AÑO. . . . 369

SEGUNDA.

APLICACION DE LA ELECTRICIDAD Á LOS DESMONTES DE LAS CARRETERAS. 376

TERCERA.

OBSERVACION SOBRE LOS DESMONTES EN CIERTA CLASE DE ROCAS. . 381

CUARTA.

CORRESPONDENCIA DE LOS PRINCIPALES PESOS Y MEDIDAS MÉTRICAS CON LAS USUALES ESPAÑOLAS. 382

Digitized by Google

Digitized by Google

ERRATAS MAS IMPORTANTES.

Págs.	Líneas.	Dice.	Debe decir.
7	23	hy	h
8	20	r' y r'	$r'r''$
22	7.ª	pbC	pdC
id.	8.ª	Tdc y pdc	TdC y pdC
id.	10	dpc	dpC
id.	11	$pb=n$	$pb=m$
23	1.ª	el punto T	el punto A
id.	4.ª	A	T'
24	2.ª	TnT	mT
25	2.ª	TS	Ts
id.	3.ª	$St=sT$	$st=sT$
id.	15	(Fig. 17)	(Fig. 17^2)
26	13	NM	AM
27	15	dc	dC
30	1.ª	TV	Tv
id.	2.ª	VT'	vT'
31	6.ª	CT'	cT'
35	16	son	con
39	9.ª	fig. 29	fig. 31
47	23	TT	tt
48	27	CE,BJ,FM,YD	CE,FM,YD
53	15	Tt'	tt'
55	última	c'''	c'
56	penúltima.	los primeros	las primeras
57	1.ª	los segundos	las segundas
61	9.ª	$v=B\frac{C+C'+C''}{3}$	$v=B\frac{c+c'+c''}{3}$
66	27	i	i'
75	id.	poniendo la	poniéndola
138	3.ª	$ce'fb$	$aefb$
143	13	77, 78, 79 y 80	78, 79, 80 y 81
183	6.ª	Sea db	Sea eb

Observaciones.

En las páginas 21, 22, 23 y 27, donde dice *renglon ó renglones*, debe decir *reglon ó reglones*.

En la página 49, en todas las citas de la figura, donde dice *J*, debe ser *Y*.

En la página 252 no se citan las figuras 115 y 116, y á ellas se refiere la descripcion de la escoba mecánica.

Digitized by Google

Digitized by Google

PRIMERA PARTE.

TRAZADO DE CARRETERAS.

Primera seccion.

Condiciones económicas, comerciales, etc., á que debe satisfacer el trazado.

En el trazado de una carretera hay que tener presentes consideraciones de varias clases relativas á los intereses comerciales, á la política, á la estrategia ó defensa del territorio, y, por último, á las condiciones facultativas ó técnicas del trazado.

Al gobierno toca decidir las primeras, señalando los puntos principales de paso ó de sujecion por donde debe pasar la carretera, de modo que favorezca lo mas cumplidamente los intereses generales, sin parcialidad ó predileccion por provincias ó localidades determinadas. Esto cuando se trate de carreteras de gran comunicacion.

En las carreteras provinciales ó municipales quedan ya mas circunscritas estas consideraciones, siendo, por consiguiente, mas fáciles de apreciar; y las diputaciones y municipalidades están en el caso de decidir relativamente á la conveniencia de su ejecucion.

Cuando las carreteras terminan en las fronteras ó pasan por plazas fuertes ó á su proximidad, intervienen ingenieros militares para decidir sobre la direccion.

Las condiciones facultativas del trazado son las que toca estudiar al ingeniero ó encargado de este, y de ellas son de las que vamos á ocuparnos.

UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO
Digitized by Google

Hay, sin embargo, que tener presentes en el trazado facultativo algunas de las consideraciones indicadas anteriormente, pues no siempre podrán ser dados ciertos puntos intermedios, y convendrá examinar cuáles son los que mejor satisfacen. Para fijar estos, no siempre podrán cumplirse las buenas condiciones relativas al tránsito parcial ó frecuentacion intermedia, porque el alargamiento y coste de la línea podria ser tal que se recargasen demasiado los trasportes: así es que á veces convendrá mas establecer ramales á los puntos productores y acortar la línea principal.

Ademas de los puntos de sujecion marcados hay otros que nacen de la naturaleza del terreno, como son las montañas, rios, etc., y que sujetan el trazado á las condiciones facultativas que vamos á esponer.

TRAZADO FACULTATIVO.

Alineaciones y perfiles.

El trazado facultativo de una carretera puede dividirse en horizontal y vertical.

El primero consta de las alineaciones rectas y curvas. El segundo de los perfiles longitudinales, compuestos de rasantes horizontales y su pendiente, y tambien de los perfiles transversales que constituyen su forma.

El trazado de una carretera no solo debe satisfacer á las condiciones económicas de construccion mas favorables, sino tambien á las mas convenientes para los trasportes. La primera condicion podrá, generalmente, tener lugar, aun cuando no todas las veces se verifica, con el mínimo desarrollo, ó en el trazado horizontal. La segunda en el vertical, elevándose á la menor altura posible y distribuyendo convenientemente las pendientes.

Pero no siempre podrá satisfacerse á todas las buenas condiciones simultáneamente, siendo necesario sacrificar algunas de ellas á las demas.

La direccion recta no es posible seguirla en general, como no sea en paises llanos, para dirigirse de un pueblo á otro; sin em-

Digitized by Google

bargo, puede servir de guia para escoger la mas conveniente ó que mas se aproxime á ella. El querer acortar una línea de carretera podrá tener graves dificultades en algunos casos, aumentando estraordinariamente los desmontes y terraplenes y las obras de fábrica.

Configuracion general del terreno.

Las cordilleras de montañas están formadas de divisorias principales, á las cuales se unen otras de segundo órden, cuya direccion es, próximamente, perpendicular á las primeras. A estas últimas, las de tercer órden perpendiculares á ellas ó paralelas á las de primero y así sucesivamente. De este modo queda dividida la superficie del terreno en cuencas ó valles, por cuyos puntos mas bajos ó talwegs (camino del valle) corren los rios de primer órden, de segundo etc., siendo los de órden inferior afluentes de los principales. A las últimas divisorias de la ramificacion se suele dar el nombre de estribos ó contrafuertes.

Tomadas en su configuracion general afectan las divisorias direcciones próximamente rectas, pudiendo considerarse los puntos donde concurren las secundarias como los de máxima altura. Por el contrario, el punto donde concurren dos talwegs es un mínimo relativo.

Cuando en el mismo punto de una divisoria concurren otra secundaria y un talweg, se forma una inflexion en el sentido horizontal. Cuando los cursos de dos talwegs son paralelos, pero en sentido contrario, debe haber un punto mínimo en la divisoria donde se separen ambos cursos.

Disposicion del trazado segun la topografía del terreno.

Paises llanos.

En los paises llanos pocas dificultades ofrece el trazado de una carretera. En los terrenos montañosos es en donde suelen ocurrir mayores dificultades, y aunque no es posible dar reglas fijas, deben, sin embargo, tenerse presentes algunas consideraciones como apreciacion aproximada de las circunstancias en que pueden encontrarse estos trazados.

Digitized by Google

Terrenos quebrados ó montañosos.

La carretera puede trazarse, bien en las laderas ó vertientes de las divisorias, ó pasando de uno á otro lado de estas, ó combinándose ambos casos, como sucede en la mayor parte de los trazados en pais de montaña.

Cuando el trazado sigue la direccion de una cordillera no hay generalmente sino dos posiciones convenientes, particularmente en las formaciones de rocas, que presentan muchas desigualdades como sucede en las graníticas. Una de las posiciones es la faja de terreno que suele encontrarse mas baja que la línea de divisoria principal, dondo nacen los arroyos y que es mas llana que el resto de la ladera. Inferiormente á esta posicion las laderas son mas quebradas. El fondo de los valles ó una línea á corta distancia del talweg de estos, es otra parte conveniente en muchos casos para llevar el trazado. Apartándose de estas direcciones hay esposicion de cortar los afluentes aumentando inútilmente la suma de alturas.

El fondo de los valles no siempre se presta bien al trazado por estrecharse demasiado y ser á veces tortuoso y desigual. La pendiente del terreno suele ser pequeña al principio y muy considerable en la parte superior ú orígen. Lo mismo sucede respecto de los afluentes; estos dan la solucion conveniente para pasar una divisoria siguiendo sus márgenes en muchos casos, pero en algunos sucede lo que acabamos de indicar en los valles principales. Su pendiente general es mayor del límite que conviene seguir con el trazado.

Las laderas en la parte intermedia entre las dos señaladas antes, es en donde generalmente presentan mas obstáculos, por cortarse con el trazado los arroyos en partes mas profundas y de márgenes escarpadas, siendo de este modo muy costosas las obras de fábrica, tanto para su construccion como para su conservacion. Las cortaduras en las estribaciones dan lugar á movimientos de tierras mas considerables, aumentándose por consiguiente el coste del camino.

El mínimo de alturas entre dos puntos de un trazado cuando

Digitized by Google

uno de ellos está en el talweg y el otro en la cumbre ó divisoria, es la diferencia de nivel entre ambos puntos. Cuando se hallan en dos cumbres, la suma de alturas de ambas sobre el talweg que las separa, es el mínimo. Si los puntos están en dos talwegs, este mínimo será la suma de las alturas de la divisoria sobre cada uno de ellos. En general, si los dos puntos están separados por un número cualquiera de divisorias y talwegs, el mínimo de alturas que hay que salvar, será la suma de las que tienen las divisorias sobre los talwegs correspondientes, mas la suma de las diferencias de nivel de los dos puntos estremos con el primer talweg ó con la divisoria.

Debe evitarse en lo posible el bajar para subir despues, ó viceversa ; haciendo de modo que las pendientes al aproximarse el trazado á la parte superior, sean las mas suaves, pues al llegar á esta es mayor la fatiga de los motores.

Aparte de las dificultades que pueden presentar las vertientes ó laderas de los paises montañosos relativamente al trazado material del camino, hay otras que nacen de su esposicion ú orientacion. Su mayor esposicion á las nieves es un grave inconveniente, debiendo elegirse las vertientes mas ventiladas y soleadas, siempre que pueda conciliarse con las demas circunstancias del trazado. Hay, sin embargo, casos en que reinando vientos fuertes en el pais, convendrá elejir una posicion abrigada.

Tanteos gráficos del trazado.

Cuando la diferencia de nivel entre los puntos estremos del proyecto es menor que la que corresponde á la máxima pendiente adoptada, se puede en este caso hacer el trazado directamente, á no ser que obstáculos de otra clase lo impidan. Cuando esta diferencia de nivel sea mayor, hay necesidad de desarrollar el trazado bien rodeando por las vertientes ó laderas, bien trazando en ellas recodos ó zik-zaks.

Aunque no puedan aplicarse con exactitud matemática, es útil, sin embargo, tener presente algunas disposiciones del trazado en las diversas circunstancias que puede presentar el terreno y co-

Digitized by Google

nocer el modo de verificar los tanteos, una vez obtenidos los datos necesarios.

Laderas curvas.

La figura 1.ª representa por medio de las curvas de nivel una ladera curva en la cual ha de trazarse el desarrollo del camino: $a\,a'$, $a'\,a''$ etc., son las proyecciones horizontales de las pendientes límites adoptadas para el trazado. El desarrollo será un mínimo, si el producto de los cosenos de los ángulos a, a', a'' etc., partiendo de uno de los estremos, es igual al producto de los del lado opuesto, partiendo del otro estremo.

Laderas planas.

En el caso de que las curvas horizontales se conviertan en rectas, lo que indicará que la superficie de la vertiente ó ladera es plana, puede considerarse esta terminada por las dos rectas paralelas r y r' (Fig. 2.ª). Las alineaciones estremas de la parte llana superior é inferior A y B serán paralelas y la correspondiente á la ladera se convierte en una recta CD. En este caso dada la proyeccion $C'D'$ de la pendiente máxima, tirando las AD y BC normales á r y r' y por último la CD, si esta resulta paralela á $C'D'$, el desarrollo es un mínimo. En efecto, AD y BC son las mas cortas distancias á las líneas r y r' y los productos de los cosenos son iguales.

Si al hacer la construccion anterior no resultare la CD paralela á la $C'D'$ y fuese mas larga que esta ó su pendiente menor, para obtener el mínimo desarrollo con la pendiente límite (Fig. 3.ª), se tira la BE paralela á $C'D'$ y de la misma magnitud, se une E con A, por el punto D de interseccion con la r, se tira DC paralela á BE, y uniendo C con B, $BCDA$ será el trazado mas corto que pueda obtenerse con la pendiente límite; pues satisface á la condicion enunciada de la igualdad del producto de los cosenos, por ser AD y BC paralelas. Tambien se demuestra que debe ser mayor el desarrollo con cualquiera otra línea tirada por A y B.

Fig. 4.ª En el caso de ser mas corta la CD que la $C'D$, ó de mayor inclinacion que la pendiente máxima, para obtener el trazado mas corto, se tira la normal BC y por C la CE paralela é igual á

Digitized by Google

la pendiente máxima. Por el punto *A* se tira la normal *AD* y por el *D* la *DE*, cumpliéndose de este modo las condiciones que se exigen.

Estos trazados se verificarian del mismo modo si fuesen curvas las laderas. En este caso las normales tiradas por *A* y *B* lo serán á las curvas límites de las mismas.

Si está compuesta la ladera de varios planos inclinados (Fig. 5.ª) cuyas intersecciones están representadas por las líneas *r*, *r'*, *r''* etc., paralelas entre sí, para obtener el desarrollo mínimo con la máxima pendiente adoptada, es necesario que se verifique la igualdad del producto de cosenos y que los ángulos estremos sean entre sí iguales. Esto exije que las alineaciones estremas conserven su paralelismo.

Para tener el trazado con estas condiciones, se tira por el punto *B* la línea *Bd* igual y paralela á la pendiente límite primera *c c'*, por *d* la *d e* paralela é igual á la segunda pendiente *C''C'''* y por *e* la *ef* con las mismas condiciones respecto de la C^{IV} C^{V} y se une *f* con *A*. Por la interseccion *g* de esta última línea con la *r*, se tira la *gr* paralela á *fe*, por *r* la *rl* paralela á *e d* y por *l* la *lo* paralela á *d B*: uniendo *o* con *B* el trazado *Ag r l o B* cumplirá con las condiciones de igualdad del producto de cosenos.

Si *Ag* y *Bo* son normales á las líneas *r* y *r'* el desarrollo es un mínimo. En el caso que no lo sean, se bajarán las perpendiculares á estas *Ah* y *Bm;* desde los puntos *m* y *hy* se trazan las líneas *mn* y *hi* con las pendientes límites en sentido contrario. Si estas encuentran á las líneas *ol* y *gr* el trazado mínimo es *A hi' r l m n B*, pues las normales *Ah* y *Bm* son las mas cortas distancias á *r* y *r'''* y el resto del desarrollo es de la misma longitud que el anterior: cuando las *hi* y *mn* no encuentran á las *gr* y *ol*, en este caso el primer trazado es el mínimo.

Laderas separadas por un valle estrecho.

Cuando dos laderas están separadas por un valle estrecho supondremos los casos en que aquellas se puedan considerar como rectas y aquel en que sean curvas.

En el primer caso (Fig. 6.ª) sean *c c'*, *c'' c'''* las direcciones de

Digitized by Google

las pendientes límites ó sus proyecciones horizontales en ambas laderas. Por el punto *A* estremo de la línea situada en la parte llana superior de la primera ladera, se traza la *Ah* igual y paralela á la *c c'* y por *h* la *hi* paralela é igual á la *c'' c'''*: uniendo el punto *i* con el *B* estremo de la línea situada en la parte llana superior de la segunda ladera, *A h i B* será el trazado mas corto.

Puede hacerse el trazado de otro modo mas conveniente sin alterar la longitud. Para esto suponiendo que una de las líneas, la *hi*, por ejemplo, se mueve paralelamente á sí misma tomará la posicion *EF*. Desde *F* se tira *Fg* paralela á *Ei* y por *g* la *gD* á la *c c'* é igual á ella; uniendo *D* con *A*, *Fg* y *AD* resultarán iguales á *Ei*, y siéndolo *EF* y *GD* á las *hi* y *Ah* por construccion, el trazado será igual al primero.

En el caso que no resulten en la construccion los puntos *E* y *D* en la parte interior de las perpendiculares bajadas desde *A* y *B* á las líneas *r* y *r'''*, pueden adoptarse estas perpendiculares para el trazado, formando zik-zak y haciendo de este modo que sea su longitud un mínimo.

Cuando las laderas son curvas (Fig. 7.ª) sean *rr'*, *r''r'''* las curvas límites y el espacio comprendido entre las *r'* y *r'* el valle. Se elige un punto intermedio *c* verificando desde este á uno y otro lado los trazados por los métodos indicados antes y para correjir el ángulo que se forma en *c* se procede del modo siguiente: se trazan por el punto estremo *A* las rectas *Ad* y *do*, la primera paralela é igual á *pq* y la *do* á la *q n* del primer trazado; por el punto *B*, ó sea el estremo opuesto del trazado, se traza la *Bi* igual y paralela á la *lm*; se une *i* con *o*; por los puntos *g* y *h* de interseccion con las laderas, se trazan las rectas *gf* y *hj* iguales y paralelas á *nq* y *m l* y por *f* la *f e* paralela á la *pq*: *A c f g h j B* será el trazado.

Caso en que haya que atravesar dos rios.

Si *R* y *R'* (Fig. 8.ª) fuesen dos rios y *aa'*, *a''a'''* los anchos de estos perpendicularmente á las márgenes, se sigue un método análogo á los anteriores para dirigir el trazado desde los estremos *A* y *B* de modo que sea un mínimo. Empezando desde el punto *B* por

Digitized by Google

ejemplo, se traza la *Bf* igual y paralela á la *aa'*, por *f* la *fg* igual y paralela á la *a'' a'''* y se une *g* con *A*. Por el punto *b* de interseccion se tira la *b'c* igual y paralela á la *a'' a'''*, por *c* la *cd* paralela á la *bg*, por el punto de interseccion *d* con la márgen la *d e* igual y paralela á la *aa'* y uniendo el punto *e* con el *B*, el trazado *A b c d e B* es el mínimo.

Dadas las curvas de nivel indicar el trazado gráficamente.

Cuando la configuracion del terreno es dada por las curvas de nivel puede hallarse gráficamente el desarrollo de la línea del trazado.

En efecto, si suponemos que estas curvas de nivel están separadas entre sí por alturas iguales de 3 metros, y el trazado ha de estar al 3 por 100, los 3 metros de altura corresponderán á 100 metros de longitud. Tomando en la escala una abertura de compás de esta magnitud, y fijando una de sus puntas en el punto por donde se quiera empezar el trazado en la curva correspondiente, se trazará un arco que cortará á la curva inmediata, y uniendo ambos puntos será la línea propuesta al 3 por 100. Generalmente habrá dos soluciones del problema; de este modo se continuará respecto de las demas curvas.

Influencia de las pendientes en los trasportes.

El efecto útil producido por los animales de tiro tiene por medida el producto de la carga arrastrada por la distancia andada por aquellos, con dicha carga. Al subir una pendiente se descompone el peso en dos fuerzas, una perpendicular á la pendiente, y otra en el sentido de ella y contraria á la accion del motor, el cual, por consiguiente, tiene que vencer este nuevo esfuerzo ademas de la carga (se prescinde ahora de los rozamientos de las ruedas sobre el camino y de las diferentes piezas de los vehículos).

A medida que la inclinacion de la pendiente es mayor, mayor será tambien la fuerza que exija el tiro para una misma carga, y en este caso, si se quiere conservar esta, hay que disminuir la velocidad del motor: viceversa, para conservar la misma velocidad del motor hay que disminuir la carga.

Digitized by Google

Para evitar esto se añaden en las pendientes fuertes caballerías de refuerzo, lo cual aumenta el coste de traccion; por consiguiente debe evitarse el adoptar en los trazados estas pendientes, que tanto perjuicio traen para obtener el efecto útil conveniente.

Esfuerzo que tiene que desarrollar el motor.

Se puede calcular para cada pendiente el esfuerzo que tendrá que vencer el motor y la fuerza de tiro que podrá desarrollar. En efecto, si se representa por F el esfuerzo que el animal que se emplee en el tiro debe desarrollar, por r los rozamientos, por P el peso arrastrado, por p el peso del animal y por h la altura por unidad de longitud de la pendiente, se obtiene la fórmula

$$F = rP \pm (P+p)\ h \quad (1)$$

la cual representa la fuerza de tiro que tiene que ejercer el motor al subir ó bajar una pendiente, tomando el signo mas en el primer caso y el menos en el segundo.

Se ve que cuanto mayor sea la inclinacion de la pendiente tanto mayor será la componente del peso en el sentido del plano, y puede aumentar de modo que el motor no desarrolle suficiente esfuerzo para vencerla. En las bajadas esta componente ayudará al tiro, pero podrá ser tal la inclinacion, que la carga empuje al motor de modo que tenga este que vencer un esfuerzo considerable para no precipitarse y volcar, y en estos casos es cuando hay necesidad de echar la galga ó plancha en los carruajes.

Cuando $h = \dfrac{rP}{P+p}$ (2) el esfuerzo que tiene que hacer el motor es nulo, y cuando h sea mayor que el segundo miembro se verificará lo indicado antes.

Fuerza disponible.

La fuerza de tiro que pueden ejercer los animales que se emplean en los carruajes es muy variable y difícil de obtener exac-

Digitized by Google

tamente. Hay que valerse de los esperimentos, que se indicarán despues, para las aplicaciones á los cálculos, aunque aquellos no sean concluyentes. La fuerza de tiro de un animal varía con su complexion, talla, alimentos, etc., y ademas en un mismo animal varía con el estado de su salud, estado y clase de camino que recorre y fatiga que esperimenta.

Rozamientos.

Los rozamientos que se ejercen en los ejes y en las llantas varian segun la carga, la clase de material de que están construidos los ejes y cubos, sus dimensiones, su estado de conservacion y, por último, segun el diámetro de las ruedas y la clase de firme sobre que marchan.

La ecuacion (2) da la inclinacion h de la pendiente límite que podria adoptarse para que con las cargas máximas comunes el motor no tuviese que ejercer esfuerzo al bajar ó fuese este cero, pero el animal no bajaria así mas cómodamente, y es mejor que lo verifique como en el caso en que no arrastra carga, haciendo $F=-\frac{ph}{1}$ y la ecuacion (1) da, sustituyendo este valor, $h=r$.

Segun los esperimentos verificados para hallar la relacion del rozamiento á la presion se admite para el valor de r los números siguientes:

En terreno llano horizontal y sobre un firme ordinario, $r=\frac{1}{20}$ ó $\frac{1}{25}$ del peso arrastrado: sobre un firme empedrado, $\frac{1}{33}$: rodando sobre losas, $\frac{1}{90}$: cuando se verifica sobre barras carriles y empleando tambien las caballerías como motor, $\frac{1}{250}$.

Digitized by Google

Pendientes límites.

Las inclinaciones deberian ser, pues, 4 á 5 por 100 en el primer caso, 3 por 100 en el segundo, 1 por 100 en el tercero y 0,5 por 100 en el cuarto.

Cuando haya que subir para bajar despues ó viceversa, que es el caso de las pendientes y contrapendientes, la cantidad de accion gastada ó ejercida por el motor será la suma de las dos ecuaciones que resultan, tomando con el signo + y con el — la ecuacion (1), multiplicadas respectivamente por las longitudes andadas en cada pendiente. Cuando no esceden de los límites, no perjudica al tiro notablemente el que haya pendientes y contrapendientes, permaneciendo constantes la longitud total y la diferencia de altura de los puntos estremos.

Pero siendo variable la fuerza de los animales de tiro y la cantidad de accion que ejercen en un tiempo dado tanto mayor cuanto menor sea la fatiga que esperimenten por esfuerzos sucesivos ó continuados, podrá suceder que el esceso de fatiga que esperimenten por estas subidas y bajadas, disminuya la cantidad de accion diaria que podrian ejercer sin ellas. Sin embargo, en la práctica parece que la alternativa de pendientes y contrapendientes de poca inclinacion produce ciertos descansos al motor que son ventajosos para el tiro.

Las indicaciones hechas relativamente al esfuerzo del motor lo están en la suposicion de que este marche al paso. Para que no esperimentase gran fatiga cuando su velocidad fuese mayor, convendria disminuir las pendientes; pero bajo este punto de vista podria ser tal el desarrollo que hubiese de darse al trazado, que el esceso de longitud hiciese emplear tanto tiempo, andando al trote, como si se conservase la primera inclinacion, andando al paso.

Influencia del esceso de elevacion de un trazado.

La influencia que puede tener el elevar los trazados á un esceso de altura inútil, es fácil determinarla, pues el trabajo perdido estará representado por el esceso de altura que se haya subido, multiplicado por el peso trasportado. Por esto se debe estudiar con cuidado, particularmente en los paises montañosos, cuál se-

Digitized by Google

rá la depresion mas conveniente para pasar de uno á otro lado.

Resistencia del aire.

No se ha tenido en cuenta en los cálculos anteriores la resistencia que opone el aire á la marcha de los carruajes, cuando su direccion es contraria á la que se sigue por estos ú oblicua á ellos; porque con las velocidades comunes empleando motores animados no es de gran consideracion á no reinar vientos fuertes; sin embargo, es otro nuevo esfuerzo que hay que agregar al que tiene que vencer el motor. La resistencia del aire crece como el cuadrado de la velocidad y en razon directa de las superficies que se presentan á su accion.

Fuerza relativa de los animales de tiro.

La fuerza de los animales de tiro comparada con la del hombre, representando esta por 1, es para el asno 2, para la mula ó macho 5, para el buey 6, y para el caballo fuerte 8 (1).

Gastos de trasporte.

La influencia del trazado en los gastos de trasporte es difícil obtenerla exactamente. El ingeniero Mr. Fabier en su memoria de 1854, sobre las leyes del movimiento de traccion, incluye consideraciones y tablas que pueden ser útiles para la comparacion entre dos trazados. En ellas se espresa la fuerza de traccion en diferentes pendientes con las longitudes horizontales equivalentes; pero solo pueden tomarse como aproximacion, por no estar fundadas en observaciones exactas.

Influencia de las curvas en los trazados.

Cuando los animales de tiro marchan por una alineacion curva, la accion oblicua que tienen que ejercer hace perder una parte de esfuerzo; y cuando el tiro del carruaje está compuesto de varios de aquellos, se estorban mutuamente para verificar la traccion de un modo conveniente. Estos efectos son tanto mayores cuanto mas curvatura tiene el firme y mas estrecho es el camino, habiendo en estos casos mas esposicion á volcar.

(1) Gayffier, Manuel des ponts et chaussees.

Digitized by Google

Precauciones que deben adoptarse.

. Por esto en los pasos en que hay que emplear curvas de pequeño radio como sucede en los zik-zaks, conviene aumentar la anchura del camino y disminuir la pendiente. Tambien conviene marchar con poca velocidad, pues combinados los efectos anteriores con la fuerza centrífuga y la componente de la gravedad en el sentido de la pendiente, espondrian á que volcasen los carruajes y se estropeasen las caballerías.

Radio mínimo.

El radio que se admite generalmente como límite inferior es de 25 á 30 metros, en el ancho ordinario de las carreteras generales.

SEGUNDA SECCION.

PLANO Y PERFILES DE LAS CARRETERAS.

Plano.

Solo es nuestro objeto hacer algunas advertencias sobre las operaciones que tienen lugar al levantar el plano y verificar las nivelaciones, suponiendo ya los conocimientos indispensables de topografía y geodesia para verificar las operaciones y teniendo la práctica suficiente en el manejo de los instrumentos. Así es que, relativamente á estos, solo haremos algunas ligeras indicaciones sobre las ventajas ó inconvenientes que puede presentar el empleo de algunos bien conocidos ya en la práctica, detallando otros que todavía han recibido pocas aplicaciones.

Instrumentos. Teodolito y grafómetro.

El teodolito es instrumento muy exacto para la medicion de ángulos; pero en las operaciones de carreteras suele emplearse el grafómetro como instrumento mas barato y de espedito manejo, no siendo tan necesaria una gran exactitud en este caso como para trazar un camino de hierro.

Digitized by Google

La brújula suele ser á veces el único instrumento disponible. Cuando es de anteojo y bien construida suple en muchos casos suficientemente á los demas instrumentos mas exactos; sin embargo, en los proyectos definitivos no conviene emplearla por las variaciones á que está sujeta. Es espedito su empleo porque no hay necesidad de referir las visuales á la anterior como en los demas instrumentos, lo cual es una operacion menos. Brújula.

El goniómetro, instrumento de cuya clase se trajo á España un cierto número cuando se trató de formar la carta y que tambien se remitió á algunos ingenieros y distritos, es de embarazoso empleo por lo mismo que en él se han querido reunir á la vez varios instrumentos, como grafómetro, brújula y nivel. Exije mucho cuidado para su manejo por ser fácil de descomponerse. Goniómetro.

El instrumento conocido por el nombre de stadia ó diastimómetro de Green, es sumamente útil para hallar las distancias sin necesidad de medirlas directamente y puede ahorrar mucho tiempo en los reconocimientos, particularmente en terrenos quebrados. Describiremos este instrumento por ser todavía poco conocido en España. Stadia.

El principio que sirve para su construccion es que si desde un *punto* se dirigen visuales á objetos de diferentes magnitudes, las distancias desde el observador á estos son proporcionales á las magnitudes de los objetos referidos.

Fundado en esto si en un anteojo se coloca un diafragma en el objetivo con ranuras horizontales ó dos hilos en la misma posicion adaptados á un plano normal al eje del anteojo, el ángulo que se forme al dirigir visuales por este abrazará mayor ó menor magnitud en una mira vertical, segun sea mayor ó menor la distancia de esta al vértice del ángulo que está en el ocular del anteojo.

Para usar este instrumento se necesitan miras que se graduan del modo siguiente:

Se mide con exactitud en terreno llano 100 ó 200 metros de

Digitized by Google

longitud colocando la stadia en un estremo de esta línea. En el otro estremo se coloca la mira en posicion vertical y se marca en ella la parte que abrazan las dos visuales dirigidas por el diafragma ó hilos indicados antes. Esta parte se divide en tantas iguales como sean las unidades tomadas desde el centro del instrumento á la mira, que en este caso serán 100 ó 200.

Cuando se emplee la stadia para medir una distancia teniendo la mira ya graduada, no hay mas que colocar esta vertical en el estremo de la línea que se quiera medir, dirigir las visuales á ella desde el otro estremo y viendo las distancias que intercepta en la mira, estas indicarán el número de metros que las separa.

Tambien el objetivo tiene un hilo central vertical para fijar las miras.

Para evitar el inconveniente que resultaria de aflojarse ó romperse los hilos, ó que en el caso de variar los bordes del diafragma hubiese que verificar nueva graduacion en la mira, como era indispensable en ambos casos, se remplaza por un cristal en el cual están grabadas horizontal y verticalmente divisiones separadas entre sí un milímetro, y estos divididos tambien en partes iguales.

En este caso sea (Fig. 9) H la altura conocida en metros de un objeto AB, D la distancia OF tambien conocida desde el objeto al objetivo, h la altura de su imágen $a\,b$ medida por medio de la placa de cristal colocada sobre esta imágen, f' la distancia focal of ó de la imágen al objetivo, se tendrá $D: f' :: H: h$.

$$f' = D\frac{h}{H} \quad (1)$$

Conocida la constante f' para un anteojo dado, si se quiere medir con el mismo instrumento una distancia D' de un objeto $A'\,B'$, bastará ver el n.° h' de divisiones interceptadas en la escala del diafragma para una longitud dada H' de la mira colocada en $A'\,B'$ y se concluirá de la proporcion anterior

$$D' = f'\frac{H'}{h'}$$

Digitized by Google

Hay otro medio de hacer la graduacion de la mira independiente de la distancia entre los hilos. Consiste en que sea esta distancia y con ella el ángulo visual, dependiente de las divisiones invariables de la mira. Para esto se dispone uno de los hilos de modo que sea móvil y pueda dársele la posicion conveniente á la distancia que se ha de medir. La fórmula (1) dará la distancia D que se busca en este caso, determinando f' como se indicó antes.

Para verificar esto, se coloca en el anteojo un micrómetro ó aparato que sirve para medir exactamente pequeñas longitudes. Está compuesto de un tornillo que hace mover uno de los hilos y una aguja que recorre esteriormente un cuadrante fijo al tubo del anteojo y dividido en cien partes iguales.

En cada revolucion la aguja hace mover una rueda cuyos dientes están numerados: el 0 se coloca bajo la punta ó índice cuando coinciden los dos hilos. Al cabo de una revolucion completa los hilos están separados una cantidad igual al paso del tornillo que sirve de pivote á la aguja, y cada vuelta corresponde á un paso. Contando el número de dientes que ha encontrado la aguja y las divisiones del cuadrante que recorre, se aprecia con mucha exactitud la separacion de los hilos.

Otros instrumentos de esta clase construidos mas recientemente no tienen rueda dentada y la separacion de los hilos se mide por medio de las divisiones iguales al paso del tornillo, señaladas en un costado del diafragma. Las fracciones del paso del tornillo se marcan como anteriormente por medio del cuadrante.

En los anales de puentes y calzadas de Francia de 1852 se inserta una estensa memoria de Mr. Porro, ingeniero piamontés, que trata de los nuevos instrumentos y procedimientos de geodesía, nivelacion y agrimensura. En ella se describe muy detalladamente el stadia y se recomienda como mas exacto que la medicion por medio de la cadena, particularmente en terrenos quebrados. Tambien se describe en esta memoria la aplicacion de este instrumento con las modificaciones necesarias al levantamiento de planos y nivelaciones, en cuyo caso toma el nombre de teodolito olométrico y

Digitized by Google

sirve para levantar el plano y nivelar simultáneamente: asimismo el tacheómetro que da por lectura directa la distancia horizontal y el nivel de anteojo diastimométrico.

Anotaciones ó datos que han de adquirirse.

Dos modos de llevar las anotaciones pueden seguirse: El primero es un estado en el cual se anota en casillas: 1.° la designacion de estaciones: 2.° de alineaciones: 3.° longitud de estas: 4.° ángulos que forman las alineaciones entre sí: 5.° ángulos con la meridiana magnética: 6.° observaciones. El segundo es un croquis en el cual se va marcando sobre las líneas que indiquen las alineaciones sus longitudes. Para anotar los ángulos puede hacerse, ó bien formando un ángulo en el mismo sentido que marque el instrumento y marcando en él los grados, ó tirando en cada hoja que se lleva una recta dividida en partes que indican las alineaciones y por un arco se indica el ángulo en el mismo sentido que lo esté en el terreno. Este último método tiene la ventaja de que se pueda llevar en la hoja con mas regularidad las anotaciones. Cuando se toman los ángulos con brújula se procede del mismo modo, tomando la orientacion en el mismo sentido que dé la brújula.

Este método es espedito y proporciona ver desde luego la direccion de las alineaciones, anotándose ademas los accidentes del terreno. Puede tambien llevarse el estado indicado antes por un ayudante, lo cual sirve de confrontacion.

Alineaciones rectas.

Las alineaciones que se marcan al verificar el proyecto de una carretera, convendria siempre que permaneciesen fijas en el terreno para no tener que hacer nuevas operaciones al verificar las obras. Para esto pueden construirse al estremo de las alineaciones postes de mampostería en los cuales se marque el número de órden que le corresponda. Este método es algo complicado cuando hay muchas alineaciones como sucede en los paises quebrados, y entonces suelen abrirse hoyos en los que se pone una señal; tambien pueden clavarse estacas, pero cuando tardan mucho en ejecutarse las obras, generalmente han desaparecido en su mayor parte estas señales.

Digitized by Google

Deben fijarse de todos modos los estremos de las alineaciones de modo que pueda haber facilidad de encontrarlos, para lo cual se refieren á puntos invariables como edificios, árboles, etc., señalando en el plano sus distancias á estos objetos, el ángulo de las visuales, etc.

Alineaciones curvas. Trazado de las curvas.

Cuando se ejecuta el trazado de una carretera, es necesario unir las alineaciones rectas por medio de curvas. Si se midiese la longitud del trazado por los alineamientos rectos, resultaria un esceso de longitud en la línea, y por eso conviene trazar las curvas de union cuando se verifica el proyecto, midiendo la longitud por ellas; ademas podrá suceder que despues de trazadas estas, como se acorta la longitud, la pendiente resulte escesiva y haya que hacer alguna rectificacion ó tambien que sea necesario verificar tanteos para adoptar una curva en razon á obstáculos que puedan presentarse. Por esto conviene conocer, antes de pasar á la ejecucion de las obras, las diferentes clases de curvas y los medios de trazarlas.

Las curvas que se trazan en las carreteras son arcos de círculo ó de parábola y curvas arbitrarias. Empezaremos por los arcos de círculo. Cualquiera que sea la curva que se emplee debe ser tangente á las alineaciones rectas, para que el paso de una á otra se verifique con continuidad.

Arcos de círculo.

El arco de círculo tiene una curvatura mas uniforme que el de parábola, pero exige que los puntos de union con los alineamientos rectos estén á igual distancia de su interseccion, pues si no no serian tangentes.

Aunque sea necesario conocer el radio del círculo para ver si la amplitud de la curva es suficiente, segun las consideraciones que se indican al hablar de la influencia de estas en el trazado, no es posible en la práctica generalmente trazar el círculo sobre el terreno por medio de su radio.

Para verificarlo independientemente de este, se emplean varios

Digitized by Google

métodos, de los cuales vamos á indicar los que pueden tener mejor aplicacion en la práctica.

Trazado del círculo por intersecciones de visuales.

Puede trazarse el arco de círculo por intersecciones de rectas; para esto sea (Fig. 10) AT, AT' los alineamientos rectos. Con el grafómetro ú otro instrumento se divide el ángulo $AT'T$ en cierto número de ángulos iguales entre sí, y se marcan las intersecciones 1, 2, 3, etc., con la TA. Lo mismo se ejecuta en T con el ángulo ATT'. Verificado esto, pueden tenderse cuerdas desde T' á los puntos marcados en AT por un lado y desde T á los marcados sobre AT' en el otro, y las intersecciones de las primeras líneas de un lado con las últimas del otro, segun se ve en la figura, darán los puntos de la curva.

Tambien pueden marcarse estos puntos directamente al hacer las operaciones. Para esto necesitan colocarse dos instrumentos, uno en T y otro en T', y dirigiendo las visuales del modo indicado anteriormente, un observador en cada uno de estos puntos enfilará una banderola de modo que venga á colocarse en la interseccion de ambas visuales haciendo mover convenientemente al peon que lleve aquella. Enfilada ya, y manteniéndola vertical, se eleva á su pie una estaquilla y se procede sucesivamente del mismo modo para los demas puntos.

Este método está fundado en que los ángulos c, c', etc., que subtende la cuerda TT' son iguales, propiedad que solo pertenece, segun se demuestra en geometría, á los que tienen el vértice en una circunferencia de círculo.

El método anterior suele dar á veces intersecciones muy agudas, y ademas para señalar estas, como se ha dicho, por medio de dos instrumentos, es necesario que no haya obstáculos intermedios: por lo que puede ser conveniente emplear los métodos siguientes:

Por abscisas y ordenadas sobre los radios estremos.

Se puede trazar un arco de círculo por medio de ordenadas normales á los radios estremos.

Sea en efecto (Fig. 11) dm una de estas ordenadas, normal al

Digitized by Google

radio que pasa por el punto de tangencia T. Esta ordenada es media proporcional entre las distancias variables Td al origen de la curva y $2R$, siendo R el radio.

Por ordenadas sobre las tangentes.

Para emplear este método hay que trazar el radio, lo cual, como se dijo al principio, no siempre puede hacerse y particularmente cuando es de gran magnitud: ademas en el caso que pueda verificarse el trazado directo quizá sea preferible, por lo cual, el método siguiente podrá tener mejor aplicacion.

En vez de tomar el radio como eje de abscisas se toman las tangentes AT, AT' (Fig. 11). En este caso se tiene $bm=Td=R-Cd$ y en el triángulo Cmd se tiene

$$Cd=\sqrt{R^2-\overline{dm}^2}=\sqrt{R^2-\overline{Tb}^2}$$

y por consiguiente $bm=R-\sqrt{R^2-\overline{Tb}^2}$

Del mismo modo se calcularán los demas puntos y acotando estas distancias, se trazan sobre el terreno por medio de renglones, cuerdas y escuadras, clavando estaquillas en los puntos del arco.

Por tangentes.

Se puede trazar un arco de círculo sobre el terreno, de modo que se necesite poco mas espacio que el que ha de ocupar dicho arco (Fig. 12). Desde el punto T ó T' de tangencia se toman dos partes iguales Td y db, desde d como centro se traza el arco bp y su cuerda de una longitud l, se tira la línea dpb' y se toman desde p, $pb'=Tb$ y $b'p'=bp$; procediendo de este modo sucesivamente se obtendrán los demas puntos de la curva.

Los puntos determinados de este modo pertenecen á un círculo: porque si se levantan perpendiculares á las líneas Ta, aa' desde los puntos de la curva, vendrán á concurrir en un punto C que será el centro de un círculo tangente en T á la línea AT.

Para determinar la distancia Tb y bp, de modo que el centro del círculo coincida con el que sea tangente en T y al mismo tiempo en T', puntos dados, se procede del modo siguiente:

Digitized by Google

Sea a el ángulo que forman las dos alineaciones, n el número de puntos del arco que han de determinarse, R el radio.

Los ángulos en C son iguales entre si y su número será $2n+2$ y cada uno valdrá

$$\frac{180°-a}{2\,(n+1)}.$$

Los ángulos $bdp=2dCp$. Siendo iguales los ángulos en C el ángulo $pbC=TbC=pd'C$. El ángulo bdp cuyo suplemento es la suma de los Tdc y pdc es igual á $dCd'=2dCp$ cuyo suplemento es la suma de los ángulos pdC y $pd'C$.

En el triángulo rectángulo dpc se tiene $dp=pC\ tang.\ dCp$ y llamando $Tb=l$, $pb=n$ se tendrá

$$\frac{1}{2}l=R\ tang.\frac{180°-a}{2\,(n+1)}.$$

En el triángulo isósceles dbp la base bp es $bp=2sen\frac{1}{2}bdp\times dp$ ó

$$m=l\ sen\frac{180°-a}{2\,(n+1)}.$$

Para trazar sobre el terreno el arco de círculo por este método, se dispone un renglon (Fig. 13) $T'b$ que tenga al menos de longitud $\frac{3}{2}l$: en un estremo se coloca un brazo graduado que puede girar y que al mismo tiempo puede fijarse á la regla en la posicion conveniente por medio de un tornillo. En el brazo A se señalan tres partes ba, aT, y TA iguales á $\frac{1}{2}l$: en la arista inferior del brazo pequeño se marca un punto p, cuya distancia á D sea igual á la m de la (Fig. 12).

Colocado el renglon de modo que coincida con la línea TA de la

Digitized by Google

figura 12, de modo que el punto T de la regla esté en el T de la alineacion, el punto p pertenece al arco.

Este último punto se marca con una estaquilla y se coloca el renglon en la direccion dp, de modo que A coincida con d y T de la regla con el p de la fig. 12, y el punto p del brazo pequeño dará otro punto del arco p', se marcará este con una estaquilla del mismo modo que el punto d', adonde viene á parar el respectivo a' de la regla, procediendo sucesivamente de este modo hasta llegar al $T.'$

Tanto siguiendo este método como en los demas, es necesario hacer algunas correcciones á la vista.

Puede hacerse un trazado análogo al anterior circunscribiendo un polígono á la curva.

La fig. 14 indica este método. Se determina primero aproximadamente el radio conveniente. Desde el punto T de tangencia se toma una distancia Td que corresponda á un número exacto de grados, para lo cual se calculan tablas. Se toma este número de grados y se forma el ángulo marcando una longitud igual á la primera, y el punto c será el de tangencia del arco, procediendo análogamente para los demas puntos.

Tirando la recta TT' el valor de los ángulos que se forman en el espacio que cierra esta línea y los demas lados del polígono, será igual á tantos ángulos rectos como lados n tenga el polígono, menos dos y los dos ángulos en T y T' designándolos por a y a' serán $a+a'=2r\,(n-2)-(r+r'+r'')$ siendo r, r' etc. los ángulos del polígono. En el triángulo TAT' el ángulo A será $180°-(a+a')$. Hallado este se ve en las tablas el ángulo que le corresponde.

Hay que hacer varios tanteos variando el radio. Conociendo este se pueden determinar mas puntos de la curva, hallando las bisectrices dd', bb' etc., pues en los triángulos rectángulos TdO, CbO, se conocen los tres ángulos y un lado y puede determinarse el dO, bO etc., y restando el radio de estos, se tiene las partes bb' dd' etc., de las bisectrices.

Digitized by Google

Trazado por medio de las cuerdas del arco.

Sea (Fig. 15) *T* el punto de tangencia, se prolonga la alineacion *TnT* de modo que dada la longitud *Ta* se obtenga el triángulo rectángulo *Tad* en que *ad* es perpendicular á *Td*, se conocerá pues el *Td* con estos datos. Se prolonga *Ta* y se construye el triángulo rectángulo *abg* en que se conocen los tres ángulos y el lado *ab=Ta*. Continuando así sucesivamente para los demas puntos.

En el triángulo isósceles *Toa* se miden sus ángulos y se deducen los del triángulo rectángulo *Tad*.

Para obtener cuerdas que dividiesen en partes iguales la curva, conociendo los puntos de contacto, el ángulo en el centro, el radio y el desarrollo de la curva, se procede haciendo el dibujo y verificando en este las divisiones iguales, se traza las cuerdas calculando como antes los catetos *Td da, ag gb* etc.

Hallados los puntos *a, b* etc. y acotadas las líneas, se obtiene mas comodidad para el trazado sobre el terreno que si las distancias son desiguales.

Las tablas de Vindrinet que se citarán luego, contienen calculadas estas líneas para radios de curvas desde 500 á 4,000 metros.

El método que da John Trantwine en su manual para el trazado de curvas (Filadelfia, 1851) es el siguiente:

(Fig. 16.) Dado el punto *T* de tangencia se forma un cierto número de ángulos iguales y de cuerdas *T S, S t*, etc., calculando la primera todos estos puntos estarán en una circunferencia de círculo. Si hay un obstáculo *h* que intercepte las visuales, puede ponerse el instrumento en *u*, punto inmediatamente anterior al *v*; desde allí dirigiendo la visual á dicho punto *v*, se fija la cuerda *u v* pudiéndose ya continuar trazando los ángulos *v u w, w u x*, etc. iguales á los ángulos *tangenciales* en *T*.

Tambien puede mudarse el instrumento á *v* y trazar el ángulo *p v w* doble del ángulo tangencial y continuar trazando ángulos *w v x, x v y*, iguales á los primeros.

Por ángulos de deflexion

El método que Frantwine llama trazado por los ángulos de deflexion es el siguiente:

Digitized by Google

Trazado por el primer método el ángulo tangencial T (Fig. 17) y medida la cuerda $T\,S$, se traza en s el ángulo $m\,s\,t$ doble del anterior, se mide la cuerda $St=sT$ y así se continúa trazando la curva.

Si se quiere que empiece en v la alineacion tangente $T'\,L$, se forma en este punto el ángulo $z\,T'\,L$ mitad del de deflexion $z\,T'\,y$.

Trazado por los senos y senoverses.

El método empleado por Mr. Praly (l' ingenieur, 1853) tiene por objeto poder ejecutar las operaciones en una faja estrecha de terreno y poder verificar los puntos de la curva.

La base del método está fundada en los siguientes principios trigonométricos: que el seno de un arco ó de un ángulo es la mitad de la cuerda qne subtende el arco doble y que el senoverso es igual á la flecha del arco doble.

(*Fig.* 17.) Sea el arco de círculo AA'''' cuyo radio es de 1000 metros y cuyas tangentes se cortan bajo el ángulo 122°, 42′, 16″, el ángulo en el centro será de 57°, 17′, 44″ y su mitad, 28°, 38′, 52″ ó 103,132″; bastará efectuar las operaciones en este último ángulo siendo aplicables los cálculos á la otra mitad.

El desarrollo D del arco correspondiente al ángulo 28°, 31′, 52″, será dado por la fórmula

$$D=0{,}00000484814\ Rt=0{,}00000484814\ R\times 103132=500.$$

Si se quiere determinar 24 puntos de la curva sobre el terreno, entre uno de los puntos de tangencia con la alineacion y el punto medio, se tendrá para cada uno de los 24 arcos, $\frac{103132}{25}=1°,\ 8′,\ 45″$ $=f$ y 20 metros de desarrollo.

Considerando uno de estos arcos $AOA'=f$, cuyo seno es

$$R\ \text{sen.}\ f=19^{m}397$$ y el senoverso $R-R\cos.\ f=0^{m}20$,

se ve que los senos bajados desde sus estremos forman con el se-

Digitized by Google

noverso dos triángulos iguales AMN y $A'M'N$ de donde se deduce

$$AN=A'N=\frac{AM}{sen.\,f}=\frac{0.2}{0,019997}=10 \text{ metros}$$

y $MN=NM'=A'M-A'N=9^m997$

ó $MN=AN\ cos.\ f=9,997.$

Ademas se notará que cada cuerda AA'', $A'A'''$, $A''A''''$ es igual á 2 sen. f$=2AM=39^m994$ y que están divididas simétricamente por los puntos de interseccion de los senos de que están compuestas, por lo que se tiene $MN=NM'=N'M'=M'N'=M''N''=N''M'''$ etc. $=9,97$ y $AN=NA'=A'N'=N'A''=A''N''=NA'''$ etc.$=10^m$.

Preparados los cálculos de este modo en el gabinete se pasa al terreno, y en uno de los arranques A de la curva, se levanta una perpendicular AE á la tangente AB y llevando sobre esta perpendicular una longitud $NM=0^m,20$ se determinará el seno MA' fijándo el punto N por la medicion.

La posicion exacta de los cuatro puntos principales A, M, N, A' fijada por medio de agujas de hierro ó clavos, será fácil prolongar la línea AN hasta A'' y determinar sobre esta cuerda M' y N' necesarios para la verificacion del punto A y determinacion de la segunda cuerda $A'\ A'''$.

Se prolonga del mismo modo la $A'N'$ hasta A''' y por consiguiente la $A''N''$ hasta A''''. Los puntos A', A'', A''', A'''' obtenidos de este modo, pertenecen á la curva buscada: se procederá del mismo modo para los demas.

Los puntos intermedios M', M'', M''', M'''' del medio de las cuerdas se determinan para servir de comprobacion de los puntos de la curva. Se ve en efecto que es fácil verificar por medio de una medida y una escuadra de albañil, si las flechas $A'M'$, $A'M''$, $A'''M'''$ son perpendiculares á su cuerda y si son todas iguales á $AM=0^m20$.

En el caso de que se encontrase en un punto una diferencia sensible, convendria retroceder hasta descubrir el error; pero se puede estar seguro de no tener que hacerlo mas lejos del punto anterior.

Digitized by Google

Cuando el terreno lo permita puede verificarse la operacion con un ángulo doble y en este caso habrá menos errores por ser mayores el seno y el senoverso.

Si los 40 metros que distan los puntos de la curva entre sí fuera demasiada longitud, es fácil determinar puntos intermedios por medio de la cuerda y la flecha del ángulo en que se ha operado.

Por ordenadas á la cuerda.

Conocido el radio y la cuerda que une los dos puntos de contacto TT' (Fig. 18) se pueden hallar las ordenadas perpendiculares á esta que determinen puntos del arco de círculo. Este método puede tener aplicacion cuando no puedan prolongarse las alineaciones. En este caso la longitud TT' se supone conocida. Sea R el radio, se tira $D\ E$ paralela á TT', sobre esta se toman varios puntos a'', b'' etc. (que pueden tomarse equidistantes para mayor espedicion en el trazado); por estos puntos se tiran aa', bb', etc. paralelas á dc y se unen los puntos a, b, etc. con el centro C, se tendrá:

$$Cd=\sqrt{\overline{Tc}^2-\overline{Td}^2}$$

Para hallar una ordenada, la bb' por ejemplo, se conoce en el triángulo rectángulo $bb'C$ el lado $bC=R$ y el $b'C$ igual á la longitud que tenga la division, por consiguiente

$$bb'=\sqrt{\overline{bC}^2-\overline{b'C}^2}$$

Restando $b'\ b''$ del valor que se obtenga para bb' se tendrá la ordenada bb'' y así de las demas.

De este modo puede trazarse en el terreno por medio de cuerdas ó renglones la cuerda TT' y calculadas las diversas ordenadas, llevar estas sobre las que se tracen sobre dicha cuerda por medio de escuadras.

Por ordenadas sobre las cuerdas y tangentes.

En el caso de que una parte de las tangentes ó alineaciones TA, $T'A$ sean difíciles de prolongar ó no pueda verificarse para emplear los métodos anteriores de trazado, suponiendo (Fig. 19)

Digitized by Google

que solo pueda operarse sobre las partes Ta y $T'b$, se procede para esta parte segun el método de ordenadas sobre las tangentes esplicado para la fig. 11, se traza la cuerda $a'b'$ y sobre esta parte se procede como para el método anterior fig. 16.

Hallar los puntos de tangencia del arco con las alineaciones.

Es conveniente saber determinar cuales han de ser los puntos de tangencia con las alineaciones, cuando se da el radio que ha de tener el arco y el ángulo que forman las alineaciones, cuyo problema es muy frecuente en el trazado de caminos de hierro; para esto se procede del modo siguiente:

(Fig. 20.) Se tira la AC que divide el ángulo de las alineaciones en dos partes iguales. En el triángulo rectángulo ATC, se conoce el lado R y los tres ángulos á saber, el recto$-\frac{1}{2}a$ y el ángulo b que es lo que falta á los otros dos para entre todos valer dos ángulos rectos ó 180°.

Conocidos los tres ángulos se conocerá el lado TA y se tiene;

$$sen.\ a : Log.\ R :: sen.\ b : Log.\ TT = Tang.$$

$$Tang = \frac{Log.\ R\ sen.\ b}{sen.\ a}$$

Desarrollo de los arcos.

Cuando, para mayor exactitud en el trazado, se quiera hallar la longitud ó desarrollo de un arco de círculo por medio del cálculo en vez de hacerlo gráficamente, se puede proceder del modo siguiente:

En la fig. 12 se tiene:

$$arc.\ TT' : 2\pi R :: ang.\ (180° - a) : 360°$$

$$arc.\ TT' = 2\pi R \frac{180° - a}{360°} = \pi R \left(1 - \frac{a}{180°}\right)$$

a es el ángulo que forman las alineaciones medido en grados, R el

Digitized by Google

radio $CT=T'C$, $2\pi R$ la longitud de la circunferencia entera, siendo $\pi=3,1416$.

Hallar el punto de la curva mas próximo al ángulo de las alineaciones.

Puede ser necesario conocer el punto del arco mas próximo al ángulo formado por las alineaciones, bien como medio de verificacion ó para elegir el arco que deba trazarse. Para hallar este punto por medio del cálculo se tiene el medio siguiente:

(Fig. 11.) En el triángulo TCA

$$AC=\sqrt{\overline{TC}^2+\overline{AT}^2}$$

y la distancia desde el vértice al punto mas próximo del arco será

$$Ag=\sqrt{\overline{TC}^2+\overline{AT}^2}-R$$

Valor de la flecha.

Tambien se obtiene el valor de la flecha eg considerando que en el triángulo rectángulo anterior la perpendicular Te bajada desde el vértice del ángulo recto á la hipotenusa da la relacion geométrica

$$Ce\times AC=\overline{CT}^2$$

$$\text{ó } Ce=\frac{R^2}{\sqrt{R^2+t^2}},$$

sustituyendo por AC su valor anterior y haciendo $CT=R$ y $AT=t$.

$$eg=Cg-Ce=R-\frac{R^2}{\sqrt{R^2-t^2}}$$

Hacer que el vértice del arco pase por un punto dado del terreno.

Si se quiere hacer que pase el vértice de la curva por un punto dado v (Fig. 21), á partir del vértice A se toman dos partes Ab Ac, de modo que el punto medio de la línea bc que las une pase por el punto v.

Desde b y c se toman bT y CT' iguales entre sí y á las bv y vc; los puntos T y T' serán los de tangencia en las alineaciones.

Digitized by Google

Para obtener mas puntos del arco, se trazan las cuerdas TV y VT', se toma el punto medio de cada una de estas m y m' y en las líneas mb y $m'c$ se toman las partes $mp=m'p'=\frac{1}{4}vf$ á partir de m y m' y los puntos p y p' pertenecerán á la curva. Se tiran nuevas cuerdas Tp, pv, etc., y por sus puntos medios se toman flechas iguales á $\frac{1}{4}$ de las anteriores ó $\frac{1}{16}$ de vf y así sucesivamente.

Este método no da exactamente un arco de círculo; pero se aproxima tanto mas á este, cuanto mayor es el ángulo formado por las dos alineaciones. Cuando este es demasiado agudo las flechas mp, $m'p'$ resultan algo menores que las correspondientes á un arco de círculo, formando una inflexion en la curva hácia los puntos de tangencia. Para que sea un arco de círculo conviene calcular estas flechas del modo siguiente:

(Fig. 22.) C es el centro, v el vértice de la curva, T' el punto de tangencia, los triángulos vfT' y vCm dan

$$vC=R=\frac{vT'\times Cv}{vf},\quad Cm=\frac{fT'\times vm}{vf}$$

$$mp=R-Cm=\frac{(vT'-fT')vm}{vf}.$$

Puede construirse la flecha en vez de calcularla, tomando $vn=CT'-T'f$, tirando no paralela á mf y vo será igual á la flecha Pm.

Cuando se dan los puntos de tangencia T y T' (Fig. 23) se determinan Ab y Ac por la proporcion $Ab:bc::AT:Tf$

$bT=bv=AT-Ab$ que sustituyendo en la anterior proporcion da

$$Ab=\frac{\overline{AT}^2}{Tf+AT}$$

y se concluye la construcion como en el ejemplo anterior.

Digitized by Google

Caso en que el vértice del ángulo de las alineaciones es inaccesible, y se da un punto de la curva.

Si el punto *A* (Fig. 24) fuese inaccesible y se quiere ademas que pase el arco cerca del punto *n*, se traza la recta *bc* que forme con los alineamientos *Tb*, *T'c* ángulos proximamente iguales, siempre que este punto esté casi á igual distancia de ambos, ó ángulo mayor con la alineacion á que esté mas próximo dicho punto.

El arco será tangente á las tres rectas *Tb*, *bc* y *CT'*. Dividiendo los ángulos *b* y *c* en dos partes iguales, el punto *o* de encuentro de las bisectrices será el centro del arco; la perpendicular *Ov* á la *bc* dará el vértice de la curva y las partes *vb* y *bc* se llevarán sobre las alineaciones y darán los puntos *T* y *T'* de tangencia. El resto de la construccion se concluye como en el ejemplo anterior.

Como el centro *o* es difícil de hallar generalmente en el terreno, pueden buscarse las distancias *vb* y *vc* sin necesidad de hacer la construccion anterior.

Para esto si se toma *bd=nb*, *cf=nc* (Fig. 24), uniendo *n* con *d* y *n* con *f*, se toman los puntos medios *m*, *m'* de estas líneas y prolongando las *bm* y *cm'* se obtiene el centro *o*.

Los triángulos semejantes dan

$$vc=\frac{mn}{bm}\,vb \qquad vc=\frac{m'n}{cm'}\,(bc-vb)$$

igualando y sacando el valor de *vb* se tiene

$$vb=\frac{m'n\times bm\times bc}{(mn\times cm')+(m'n\times bm)}$$

y se continua la construccion como en los casos anteriores.

Tambien se procede de este modo cuando se quiere trazar dos arcos del mismo radio tangentes á tres alineaciones y por la fórmula anterior se conocerá el punto *v* de interseccion de los dos arcos.

Para trazar los arcos por los métodos espuestos anteriormente, hay tablas calculadas de grado en grado por Mr. Bomam.

Digitized by Google

Arcos de parábola: trazado por las cuerdas.

Dados los puntos de tangencia T y T' (Fig. 25) se traza la cuerda que los une y se tira la recta Af desde el encuentro de las alineaciones al punto medio f. Esta recta se divide en dos partes iguales y da el punto v vértice de la parábola.

Para hallar otro punto se traza por el v la ab paralela á TT' y dividiendo ahora la cuerda Tv en dos partes iguales, se tira la ac y su punto medio d pertenece á la parábola. Para hallar otro punto se tirará por d una paralela á Tv procediendo como anteriormente.

Se demuestra que los puntos hallados pertenecen á una parábola porque siendo TA y $T'A$ tangentes á la curva Af, que divide en dos partes iguales, la doble ordenada TT' será un diámetro de la curva, y v uno de sus puntos.

Por intersecciones de visuales.

Se puede trazar un arco de parábola por un método análogo al indicado para el arco de círculo por medio de intersecciones de rectas.

Dadas las tangentes TA y $T'A$ (Fig. 26), se dividen en partes iguales y se unen cada uno de los puntos de division, inclusos T y T', contando desde T' á A con los opuestos contando desde A á T y los puntos de encuentro de las líneas de union pertenecen á la parábola.

Para evitar la incertidumbre que resulta en los puntos hallados, cuando las intersecciones son muy agudas, pueden calcularse las distancias de los puntos de la curva al orígen de una de las rectas en que están situadas.

Para esto supongamos (Fig. 27) que M es el punto de interseccion de dos rectas trazadas por el método anterior y cuyos puntos de division son n y $n+1$ y se trata de hallar PM en funcion de la línea total PP'.

Se tirará PE paralela á QQ' y se tiene

$$PM : P'M : : Q'E : P'Q'$$

$$AQ : AQ' : : PQ : Q'E,\ AQ \times PQ = AQ \times Q'E.$$

Digitized by Google

Multiplicando en la primera proporcion el primer término de la segunda relacion por $AQ' \times PQ$ y el segundo por $AQ \times Q'E$, si a y a' son los valores de las divisiones d ó $PQ = a$, $P'Q' = a'$

$$AQ = (d - n)a,\ AQ' = (n+1)a'.$$

Sustituyendo estos valores en las proporciones anteriores, se obtiene:

$$PM : P'M : : (n+1)aa' : (d-n)aa' : : n+1 : d-n.$$

$$PM : PM + P'M \text{ ó } PP' : : n+1 : m+1.$$

$$PM = \frac{n+1}{m+1} PP'$$

Para fijar el punto M en el terreno se traza la línea PP', se mide exactamente y se calcula por la fórmula anterior la parte PM. Si el número de divisiones fuese 9, por ejemplo, se tomará sobre la recta 11 los $\frac{2}{10}$, sobre la 22 los $\frac{3}{10}$, sobre la 33 los $\frac{4}{10}$, etc., lo cual daria puntos de la curva.

Cuando las dos partes AT y AT' de las alineaciones ó distancias al punto de contacto son iguales, puede emplearse indiferentemente el arco de círculo ó el de parábola. Se desmuestra por el cálculo que la parábola tangente en T y T' se aproxima mas al vértice A que el arco de círculo tangente en los mismos puntos, cuando se construye este por medio de las cuerdas y las rectas tiradas por sus puntos medios segun se esplicó (Fig. 25).

Cuando el trazado de la parábola se hace por el método de intersecciones de la fig. 26, las parábolas son distintas segun el número de divisiones que se hagan en AT y AT'. El vértice v de la figura 25 está en este caso mas bajo que el punto medio de Af y se aproxima tanto mas á él, cuanto mayor sea el número de divisiones, llegando á confundirse cuando es infinito.

Digitized by Google

Si el número de divisiones de las tangentes es dos, que es el menor posible, el vértice de la parábola está á los $\frac{2}{3}$ de la línea que une el vértice de las alineaciones con el punto medio de la cuerda.

El valor de *Av* (Fig. 25) está dado por la espresion

$$Av = \frac{Af}{2} \times \frac{n+2}{n+1},$$

siendo *n* el número de divisiones de las tangentes; lo cual hace ver que para determinar la amplitud que ha de tener la curva hay que dar ademas de las tangentes ó alineaciones el número de divisiones.

Curvas arbitrarias.

Cuando no pueden emplearse los métodos espuestos para el trazado de curvas, por los obstáculos que se presentan, como sucede en pais de montaña, se emplean los métodos de tanteo que vamos á indicar.

Por cuerdas.

(Fig. 28.) Se toma desde el punto *T* de tangencia en la alineacion *TA* una longitud *Ta* de tres metros por ejemplo. Desde *T* con un radio *Ta* se describe un arco *ab*, y se tira la cuerda *ab*, la cual se toma aproximadamente como parezca convenir, para la amplitud de la curva. Se traza la línea *Tb*, que se prolonga otros tres metros para proceder del mismo modo al estremo *a'*. La cuerda *a'b'* se tomará mayor ó menor que *ab*, segun haya de tener mas ó menos curvatura el arco.

Generalmente hay que hacer varios tanteos para fijar esta curva, pero tanto en estos casos como en los demas se traza en un papel en gran escala, acotando las líneas que se han de tomar en el terreno.

Digitized by Google

Curvas de doble vuelta

(Fig. 29.) Cuando haya que trazar curvas de union en vueltas dobles, se procede para cada parte TAT', $T'A'T''$ por los métodos esplicados que mas convenga seguir, segun la abertura de los ángulos y la facilidad que presente el terreno para efectuarlo; pero como estos casos tienen lugar en los paises quebrados, habrá que emplear aquellos en que se necesita menos espacio para operar.

Indicacion de las tablas calculadas para el trazado de curvas.

Para abreviar las operaciones del trazado de curvas hay algunas tablas calculadas que pueden ser útiles, y de las cuales indicaremos aquellas de que tenemos noticia.

Las de Chevallot, edicion de 1850, contienen nociones de trigonometría y sus aplicaciones: tablas con las relaciones entre los arcos y el radio, y tablas para el trazado por abscisas y ordenadas tomadas sobre la tangente, ó cuerdas calculadas para arcos de 5′ en 5′.

Las de Prus, edicion de 1846, contienen cuatro tablas: la primera son las longitudes de las tangentes, secantes, semicuerdas y arcos de curvas circulares de 100 metros de radio: la segunda para las abscisas y ordenadas de 1/4 de circunferencia del mismo radio: la tercera elementos principales de las parábolas construidas sobre las tangentes: la cuarta las abscisas y ordenadas de las parábolas cuyo parámetro es la unidad.

Las tablas primera y tercera están calculadas de minuto en minuto, desde 70° á 80°: las segunda y cuarta de decímetro en decímetro desde 0 á 100 metros. El primero y último decímetro está dividido en centímetros, y el primero y último de estos en milímetros. Se toma por eje de abscisas la bisectriz del ángulo formado por las dos alineaciones y el orígen en el vértice de la curva.

El empleo de estas tablas presenta algunas dificultades en la práctica.

En las publicadas por Bisson están tomadas las tangentes ó alineaciones por eje de abscisas, lo cual hace menos dificultoso el empleo en la práctica; pero solo toma las abscisas de 10 en 10 metros.

Digitized by Google

En el tratado de Vindrinet, *Guia práctico para el trazado de caminos de hierro*, hay nociones prácticas de nivelacion y levantamiento de planos y varios métodos para el trazado de curvas, de los cuales hemos estractado los principales en este escrito. Ademas contiene tablas para el trazado de arcos de círculo, conociendo el ángulo de las tangentes para radios de 500 á 4,000 metros: tablas para el trazado por abscisas y ordenadas sobre las tangentes para los mismos radios y, en fin, para el trazado por medio de las cuerdas.

Perfiles.

Del mismo modo que al tratar del levantamiento del plano de la carretera, solo haremos en esta parte, relativa al trazado de perfiles, algunas indicaciones sobre los instrumentos y operaciones que con ellos se ejecutan.

Niveles de aire.

Los instrumentos que se emplean son: el nivel de aire de anteojo, el de pendiente ó eclímetro, el de agua, el de albañil y el de aire pequeño ó de bolsillo para perfiles transversales.

Hay algunas diferencias en los niveles de aire relativamente á su construccion. El de Lenoir se diferencia del de Egault en que el eje de rotacion, en vez de ponerse vertical por medio de una rosca que actúa sobre el platillo, de cuyo centro se eleva á ángulo recto, se le da la posicion conveniente por medio de tornillos laterales que actuan sobre él mismo. Sin embargo, el nivel mas especialmente conocido por de Lenoir, y que para distinguirle del anterior se llama nivel-círculo, tiene un platillo circular fijado en su centro sobre una columna apoyada en tres brazos, en cada uno de los cuales hay una rosca de correccion.

Cuando el platillo superior se apoya directamente sobre un pie con tres tornillos, tiene mas estabilidad qne los que tienen dos tornillos con dos resortes; pero estos son mas fáciles de manejar.

Debe cuidarse de hacer las correcciones convenientes para que

Digitized by Google

las nivelaciones sean exactas. Debe verificarse que el eje de figura y el eje óptico del anteojo sean paralelos al platillo horizontal.

Lo primero se obtiene despues de nivelado el platillo, dirigiendo una visual á un punto fijo, haciendo describir 180° á todo el instrumento, volviendo á colocar solamente el anteojo en la posicion primitiva y viendo si el objeto que se observó primero coincide con la visual. Si no se verifica esto, es señal de que la generatriz inferior del anteojo no está horizontal, y para hacer la correccion, se hace subir ó bajar el apoyo del anteojo.

Para colocar el eje óptico paralelo al platillo horizontal ó al eje de figura del cilindro esterior del anteojo, se dirige la visual á un punto lejano fijo, y despues de nivelado el platillo, se hace girar el anteojo solo 180° al rededor de su eje; dirigiendo nuevamente la visual, si el objeto se ve por la parte superior ó inferior del hilo horizontal del objetivo, se corrige por medio del tornillo correspondiente la mitad de la diferencia. El hilo vertical se centra por un medio análogo dirigiendo la visual á una línea vertical.

Tambien hay que asegurarse de que está bien horizontal el hilo, para lo cual tiene los tornillos correspondientes.

No es posible muchas veces hacer que las distancias de las niveladas al verificar las operaciones, sean las mismas que aquellas que sirvieron para centrar el anteojo; por consiguiente la operacion no será exacta. Cuando las diferencias no sean grandes no resultan errores sensibles, y particularmente en el trazado de carreteras tendrá esto poca influencia; sin embargo, puede emplearse un método para nivelar por medio del cual, aun cuando el anteojo esté descentrado y aun en el caso de que la burbuja de aire y el eje de figura no estuviesen paralelos al platillo, hubiese la exactitud necesaria; se procede del modo siguiente:

Despues de poner horizontal el platillo se hacen cuatro niveladas correspondientes á cuatro posiciones del anteojo, en las cuales el hilo esté horizontal. Supongamos que p sea el punto adonde se dirige la visual primera (Fig. 30) p', despues de haber hecho girar el anteojo al rededor de su eje 180°; el hilo horizontal se ha-

Digitized by Google

brá colocado sucesivamente á igual distancia por la parte superior é inferior al eje de figura del anteojo, y la cota media *Tm* seria la que debiera resultar, si el instrumento hubiera estado bien centrado.

Cambiando el anteojo estremo por estremo, es decir que el objetivo se coloque en la posicion que tenia el ocular, para lo cual se levanta de sus apoyos, se vuelve despues á la posicion primitiva haciendo girar todo el aparato 180°. Se cuidará que la retícula quede horizontal despues de este giro y que esté bien nivelado el instrumento cada vez que se dirija la visual.

En las nuevas posiciones del nivel se repetirán las operaciones anteriores y darán los puntos *q*, *q'* y el punto medio *m'*.

En las dobles niveladas efectuadas, el eje óptico y el de figura se han colocado sucesivamente en dos posiciones simétricas con relacion á la posicion normal *NM* y la cota *TM* es el término medio ó

$$TM = \frac{Tp + Tp' + Tq + Tq'}{4}$$

$$\text{pero } TM = \frac{\frac{Tp+Tq'}{2} + \frac{Tq+Tp'}{2}}{2}$$

por lo que bastan dos operaciones de las cuatro, es decir, la primera y cuarta ó la segunda y tercera, y por consiguiente se reducen á que despues de dirigir la visual en una posicion cualquiera del nivel, se dirija una segunda despues de haber vuelto el anteojo estremo por estremo levantándole de sus apoyos y hecho girar al instrumento 180° para colocar nuevamente el ocular del lado primitivo. El término medio de los dos resultados da la cota.

Distancia de las niveladas ó golpes de nivel.

A pesar de que el alcance del anteojo del nivel es generalmente considerable, no por eso deben hacerse niveladas á grandes distancias. Están limitadas estas por la movilidad de la burbuja de aire del nivel, que depende del radio de curvatura longitudinal del tubo de este.

Digitized by Google

El radio indicado se hace generalmente de 15 metros, de modo que en este caso si se comete un error de 0,m00025 en apreciar la posicion de la burbuja relativamente á las líneas señaladas en el tubo y se supone que 0,m002 sea el que se comete en la diferencia efectiva de nivel, lo que no es exagerado, comparando *abb'* y *orr'* (Fig. 31) se tendrá

$$X = 15 \frac{0{,}002}{0{,}00025} = 120 \text{ metros}$$

para la distancia á que podrán darse las niveladas.

En la fig. 29 citada anteriormente, *o* representa el ocular, *ab'* el radio de curvatura del tubo del nivel, *b b'* la diferencia ó error de apreciacion en la burbuja, *rr'* el error de nivelacion y *x* la distancia buscada.

Esta distancia podrá ser mas ó menos considerable segun la perfeccion del nivel y la práctica del que nivela. En general se toman 100 metros como límite.

Es conveniente, tanto en este como en los demas instrumentos que se emplean en el levantamiento de planos y nivelaciones, que un mismo individuo sea el que los maneje, pues acostumbrándose á ellos conoce sus defectos con facilidad y se hacen con mucha mas rapidez las operaciones.

Nivel de agua.

Una de las precauciones que no debe descuidarse al emplear el nivel de agua, es hacer salir bien el aire de los tubos. En invierno para evitar que se hiele el agua se mezcla con aguardiente ó espíritu de vino.

La distancia media, admitida como máxima para las niveladas con este instrumento, es de 25 metros, para que los errores sean de poca consideracion.

El nivel de agua se emplea en los trazados como auxiliar del de aire, bien sea para detalles de nivelaciones intermedias entre las ejecutadas con el nivel de aire, bien para los perfiles transversales.

Digitized by Google

Eclimetro.

Uno de los instrumentos mas útiles para reconocimientos y anteproyectos es el nivel de pendiente, llamado tambien eclímetro ó clinómetro. Su principal aplicacion es en los paises montañosos en los cuales, necesitándose saber si el desarrollo será posible con una pendiente dada, se pueden hacer los tanteos convenientes por medio de este nivel.

Para hacer estos tanteos con una pendiente dada, se coloca el bastidor de la alidada mayor en la señal que marca la pendiente adoptada, cuando se emplean los eclímetros de esta clase. En los de círculo vertical graduado, se coloca la alidada en los grados que marcan la pendiente.

Se pone la tablilla de la mira ó su graduacion á la altura de la retícula ó agujero por donde se dirige la visual, aproximándola á este. Se hace colocar la mira á la distancia en que coincida la visual con la línea de la tablilla ó graduacion de la mira, que se acaba de fijar, y el punto en que esto se verifique, estará con el que ocupe el instrumento, en la pendiente dada.

Si se quiere saber cuánto habrá que desmontar ó terraplenar siguiendo una pendiente dada, se marca esta en el instrumento y se coloca la mira, cuya tablilla ó graduacion se ha fijado como se indicó en el caso anterior, en el punto en que se quiera averiguar. Se subirá ó bajará la tablilla hasta que coincida la visual, ó se verá la graduacion que se obtiene con esta, y la diferencia en mas ó en menos con la altura anterior, será la que tendrá el terraplen ó el desmonte.

Con un buen eclímetro se obtienen las pendientes con uno ó dos milimetros de error solamente.

Es conveniente, cuando se emplean los eclímetros de círculo vertical graduado, tener calculadas las pendientes que corresponden espresadas en fracciones de metros ó tanto por ciento al número de grados y minutos que se obtengan, pues la primera relacion es la que se emplea para designar dichas pendientes; á continuacion ponemos algunas de estas reducciones que pueden ser útiles. El cálculo es sencillo, pues se sabe que la diferencia de altura

Digitized by Google

de un estremo á otro, ó la inclinacion de la pendiente por unidad, es la tangente del ángulo que forma esta pendiente con la horizontal; por ejemplo, si es de $0^{m},005$ por metro se buscará el logaritmo de 5 que es 0,69897 y el logaritmo tangente que le corresponde es el de $2°,52'$.

Tabla de pendientes naturales espresadas en grados, minutos y segundos.

GRADOS.	PENDIENTES.	GRADOS.	PENDIENTES.
° ′ ″		° ′ ″	
0,15, 0	0,0044	6, 0, 0	0,1051
0,17, 0	0,0050	6,16,30	0,1100
0,31, 0	0,0087	6,33,40	0,1150
0,35, 0	0,0100	6,50,30	0,1200
0,45, 0	0,0131	7, 0, 0	0,1230
0,51,30	0,0150	7, 7,30	0,1250
1, 0, 0	0,0175	7,24,20	0,1300
1, 8,40	0,0200	7,41,20	0,1350
1,26, 0	0,0250	7,58,10	0,1400
1,43, 1	0,0300	8, 0, 0	0,1410
2, 0,20	0,0350	8,15, 0	0,1450
2,17,30	0,0400	8,31,50	0,1500
2,30, 0	0,0436	9, 0, 0	0,1580
2,34,40	0,0450	10, 0, 0	0,1760
2,51,40	0,0500	12, 0, 0	0,2120
3, 0, 0	0,0524	14, 0, 0	0,2490
3, 8,50	0,0550	16, 0, 0	0,2810
3,26, 0	0,0600	18, 0, 0	0,3250
3,30, 0	0,0612	20, 0, 0	0,3640
3,43,10	0,0650	22, 0, 0	0,4040
4, 0, 0	0,0699	24, 0, 0	0,4450
4, 0,20	0,0700	26, 0, 0	0,4880
4,17,20	0,0750	28, 0, 0	0,5320
4,30, 0	0,0790	30, 0, 0	0,5770
4,34,30	0,0800	32, 0, 0	0,6250
4,51,30	0,0850	34, 0, 0	0,6740
5, 0, 0	0,0875	36, 0, 0	0,7260
5, 8,30	0,0900	38, 0, 0	0,7830
5,25,30	0,0950	40, 0, 0	0,8390
5,42,30	0,1000	45, 0, 0	1,0000
5,59,30	0,1050		

Digitized by Google

Miras. Tres clases de miras se emplean para las nivelaciones. La de tablilla corrediza, la graduada ó inglesa y la recientemente modificada en Francia por Mr. Bourdalone que llama mira *parlante*.

La mira inglesa no tiene tablibla y está dividida su altura en partes negras y blancas, con grandes números para leer las divisiones desde el punto en que se dirige la visual.

La mira parlante tiene generalmente tres metros de altura y á veces hasta seis metros; está dividida análogamente á la inglesa. Las divisiones comprenden 20 centímetros cada una; cada division alternada de estas lo está en otras 5 partes de $0,^{m}04$ cada una, pintadas de blanco y encarnadó, que ocupan solo la mitad del ancho de la mira, el cual es de $0^{m}12$; en la otra mitad se pinta con grandes cifras negras el número que indica el de grupos que hay debajo y que ha de completarse con la lectura de la fraccion de grupos correspondientes. Los de órden par están en la mitad de la derecha y los impares á la izquierda.

Por las dificultades que podia tener para la lectura la division de 20 en 20 centímetros, solo indica cada número la mitad de la altura de mira correspondiente, y se leen las divisiones pequeñas como si estas fuesen solo de 20 milímetros. Así la suma de dos lecturas consecutivas hecha para compensar los errores del nivel, segun se esplicó al hablar de este, da la nivelada media sin que haya que dividir esta suma por dos, como cuando se obtiene la altura en su verdadera numeracion. Vamos á esplicar un ejemplo de su uso.

Si *AB* (Fig. 32) es la línea de nivel que marca 0,7 para los centímetros, se ve que la línea *AB* abraza dos divisiones enteras *DD*, que se cuentan por dos centímetros cada una, total 0,74. Para los milímetros se ve que aproximadamente corta la *AB* á los $\frac{2}{3}$ la division D'' ó $\frac{2}{3}\times 0,020$ ó $\frac{1}{3}\times 0,04=0,013$ cantidad que hay que añadir á la medida anterior.

Digitized by Google

Si se da vuelta al nivel y anteojo para hacer una segunda nivelada dará otra línea $A'B'$, que si estuviese á los $\frac{3}{4}$ de la division D''', tendremos, procediendo como anteriormente, 0,775. Pero estos números, segun se dijo, no representan por el sistema seguido en la numeracion de la mira sino la mitad de las alturas, y el término medio de estas será la suma de las anteriores ó $1,^{m}528$.

Es conveniente que el peon que tenga la mira lleve una plomada para colocar esta vertical.

Observaciones.

Las miras de tablilla son las mas usuales y en ellas no es indiferente la disposicion de las divisiones ó cuarteles de color, Cuando la línea de separacion del blanco y negro es horizontal, resulta que la cerda se confunde con ella y es mejor dividir la tablilla en cuatro rectángulos y pintarlos alternativamente de blanco y negro ó de blanco y encarnado; así se destaca mejor la cerda horizontal.

Se ha ensayado una mira *parlante* micrométrica por Mr. Dupré en la cual se propone hacer que pueda apreciarse con ella menos de un milímetro, aplicando un sistema de nonius, y que sirva para emplearla con el nivel de agua.

Estados de nivelacion.

Los datos que se obtienen de las nivelaciones pueden anotarse de dos modos. Uno de ellos, el que mas generalmente se emplea, es llevar un estado con casillas, segun los modelos que se indicarán despues, y el otro es ir anotando los datos en un croquis.

Ambos métodos pueden emplearse á la vez llevando el estado un ayudante y el croquis otro y de este modo se pueden confrontar los resultados obtenidos. En el croquis se anotan sobre una línea horizontal las distancias de las niveladas, y en ordenadas levantadas al final de estas, las diferencias de nivel de las niveladas de atras y de adelante.

Es conveniente trazar esta línea de nivel en la parte inferior de la del terreno, ó lo que es lo mismo, suponer el plano de nivel

Digitized by Google

en la parte inferior pues da un sistema de representacion mas natural. Tambien seria conveniente referir un punto del perfil, por ejemplo, sus estremos, al nivel del mar con el objeto de que los proyectos de carretera pudiesen aprovecharse reunidos para hacer la carta de alturas de una provincia ó pais.

En el caso de emplear el eclímetro en las operaciones se anota en el croquis la pendiente que resulta sobre la línea que se traza para representar la del terreno, poniendo el signo mas si es subiendo, ó el menos si es bajando, á contar desde el punto de partida.

Para los perfiles transversales se procede de un modo análogo llevando estos en un estado ó croquis separado, referidos á los números marcados en el perfil longitudinal, ó bien en el mismo croquis que este, lo cual es mas fácil, cuidando de trazarlos en correspondencia con las verticales de los estremos de estacion.

En los tratados de geodesia se incluyen tablas para la correccion de las diferencias de nivel por efecto de la esfericidad de la tierra y la refraccion admosférica; pero estos errores son despreciables en las distancias, que, segun se ha dicho, deben adoptarse en el trazado como máximas para las niveladas. Cuando las niveladas de atras y adelante son de 30 metros, la diferencia producida por los dos efectos ó sea la elevacion del nivel aparente al verdadero, es solamente de 0,0001; para 100 metros es de 0,0007.

Las tablas publicadas en 1853 por el ayudante D. Jacinto de la Rua son muy útiles para las operaciones de nivelacion y para el trazado de curvas.

Digitized by Google

Modelo del estado de nivelacion.

Núm. de las estaciones.	Longitudes horizontales entre los puntos de nivelacion.	Núms. de órden y designacion de los puntos de nivelacion.	Cotas referidas a los planos parciales de nivelacion.				Cotas referidas al plano general.	Cotas de los planos parciales de nivelacion referidas al plano general.	OBSERVACIONES.
			Cota de adelante.		Cota de atras.				
			Cotas observadas directamente.	Medias.	Cotas observadas directamente.	Medias.			

Cuando las operaciones se hacen con el eclímetro, las casillas referentes á las cotas se sustituyen por otras en que se indica la pendiente subiendo ó bajando.

Digitized by Google

TERCERA SECCION.

MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Cubicacion de desmontes y terraplenes.

Superficies que limitan un trozo de carretera comprendido entre dos perfiles.

Cuando se redacta el proyecto de una carretera es necesario calcular el movimiento de tierras que habrá en él, es decir, el volúmen de los desmontes y los terraplenes. Estos se obtienen por medio de los datos adquiridos con los perfiles longitudinales y transversales.

Las formas irregulares del terreno hacen que no sea posible hallar con una exactitud matemática los volúmenes, como sucederia si estuviese terminado aquel por superficies regulares.

Para hallar los volúmenes referidos, se considera dividido el camino en pequeños trozos terminados por perfiles transversales, en los cuales se da la forma de las superficies que componen la carretera, y por superficies circunscritas al terreno aproximándose lo mas posible á la forma de este. Las superficies indicadas pueden considerarse engendradas por rectas, que moviéndose paralelamente á sí mismas y al plano vertical, que pasa por el eje del camino, se apoyan en las líneas de dos perfiles cosecutivos.

Para dar al camino las pendientes que deben quedar con arreglo á las condiciones que se han estudiado antes, es necesario desmontar ó terraplenar.

Cotas rojas y negras. Puntos de paso.

El plano de la carretera ó plano rasante se indica en el perfil longitudinal por líneas rojas, cuya inclinacion es la que tenga la pendiente adoptada en cada rasante. Cuando estas líneas quedan por la parte superior del terreno, habrá que terraplenar, y cuando sean inferiores, desmontar.

Veamos cuáles son las superficies que terminan el volúmen com-

Digitized by Google

prendido entre dos perfiles transversales contiguos, en los diferentes casos que pueden ocurrir.

Supongamos que *AB* (Fig. 33) representa la proyeccion horizontal del eje y *a*, *b*, *c* etc., los perfiles transversales adaptados al plano horizontal.

Prescindiremos de las cunetas y caja del firme (*), lo cual simplifica los cálculos y el movimiento de tierras que producen, no hay dificultad en calcularlo separadamente por grandes secciones, pues las dimensiones de la caja son generalmente una cantidad constante en toda la carretera, y respecto á las cunetas puede hacerse el calculo por grandes trozos sin error de consideracion. Ademas que á veces no hay necesidad de calcular el movimiento de tierras relativo á caja y cunetas por ajustarse separadamente por varas lineales.

Si dos perfiles consecutivos *a* y *b* están ambos en desmonte, el trozo comprendido entre ambos lo estará tambien.

En este caso, las superficies que terminan el trozo entre dos perfiles serán: 1.° el plano rasante *rrrr*; 2.° los planos de los taludes *rt*, *rt*, suponiendo que no varia la inclinaciou de estos de un perfil al otro, pues en este caso serian superficies alabeadas; y 3.° las superficies alabeadas formadas por rectas paralelas al plano vertical que pasa por el eje *AB* del camino, suponiendo que se apoyan estas sobre las líneas *TT* que terminan el terreno.

En el caso de que un perfil *b* esté en desmonte y el siguiente *c* en terraplen la superficie alabeada que se supone determina el terreno *ttt't'*, corta al plano rasante *rrr'r'* segun una curva que marca el paso del desmonte al terraplen. Se da á esta el nombre de línea de paso y se considera como compuesta de rectas. La parte comprendida entre el perfil *b* y la línea de paso se termina por las superficies ya indicadas en el caso anterior. La comprendida desde la línea de paso al perfil *c*, está terminada por el plano rasante, por el del terreno y por los que forman los escarpes del terraplen.

(*) Estas partes del camino se describirán mas adelante.

Digitized by Google

Cuando el trozo comprendido entre dos perfiles *c* y *d* está en terraplen se halla este terminado por los planos rasantes, por los del terreno inferior y por los que forman los escarpes del terraplen. Si la inclinacion de estos no es la misma en ambos perfiles serán entonces superficies alabeadas.

Si, como se indica, el perfil *d* está en terraplen y el *e* parte en desmonte y parte en terraplen, las superficies que terminan los sólidos serán la combinacion de las anteriores, y lo mismo sucederá en el caso en que dos perfiles *e* y *f* consecutivos esten parte en desmonte y parte en terraplen; y en fin cuando uno solo lo está y el siguiente en desmonte.

En el caso de los perfiles *e* y *f* puede suceder que la parte de ladera de uno de ellos esté inclinada en un sentido y en otro la del perfil siguiente; en este caso habrá líneas de paso, no solo en el sentido longitudinal del camino como dijimos antes, sino tambien en el transversal, para el paso de la parte en desmonte de un perfil al terraplen del otro y viceversa.

En la figura 34 se representa una seccion dada por un plano vertical que pasa por el eje del camino; *AB* es el plano á que se refiere la nivelacion. Si *AB* estuviera por la parte inferior del trazado, se reducirán á un cambio de signos las variaciones que habrian de hacerse en las fórmulas. *CD* es el plano rasante, *EHFY* la línea del terreno, *H* el punto de paso.

A las ordenadas *AE*, *GH*, *BY*, de los puntos del terreno se da el nombre de cotas negras, á las partes de estas comprendidas desde el plano de nivel *AB* á los puntos de rasante, como *AC*, *GH*, *LM*, *BD*, cotas del proyecto y á las *CE*, *BJ*, *FM*, *YD*, diferencias entre las primeras, *cotas rojas*, por representarle generalmente con tinta de este color. En los puntos de paso *H* la cota rója es cero. Tambien pueden llamarse cotas de desmonte ó terraplen porque dan las alturas de estos.

Conocidas las cotas puede obtenerse la espresion de la pendiente absoluta de las rasantes y la referida á la unidad de longitud. Para obtener la primera basta restar las cotas estremas de cada rasante.

Digitized by Google

Si se tira CN paralela á AB, la altura DN representará la pendiente absoluta: la pendiente por unidad se obtiene dividiendo la pendiente absoluta por la longitud.

Puede obtenerse el valor de la pendiente absoluta en funcion de las cotas negras y rojas del modo siguiente:

$$DN=BN-BD=AC-BD=AE-CE-(BJ+DJ)=AE-CE-BJ-DJ.$$

Representando por P la pendiente, por N y C las cotas negra y roja del punto E, y por N' y C' las del punto J, se tendrá sustituyendo en la ecuacion anterior

$$P=N-C-N'-C' \quad (1).$$

Siendo p la pendiente de la rasante por unidad de longitud, d la la distancia horizontal de un punto F del terreno al estremo E. LM ó cota del proyecto será $N\mp dp$, el signo superior si sube, y el inferior si baja el estremo. La cota roja $JM=N'-(N\mp dp)$ siendo N' la cota negra del punto J ó $(N\mp dp)-N'$. El primer caso si la rasante del proyecto es superior al terreno natural y el segundo cuando sea inferior.

Dada la cota roja de un punto se halla la de otro siguiente por la ecuacion (1) despejando C', pues en este caso se suponen conocidas las demas cantidades que entran en la ecuacion. Los signos mas ó menos indican si la pendiente sube ó baja; cuando á C afecta el signo positivo el terreno es superior á la rasante y hay que hacer desmonte, y si el negativo, por el contrario, hay que hacer terraplen;

$$C'=(N\pm P\pm C)-N'.$$

Este cálculo suele necesitarse cuando hay que rectificar una parte del proyecto. Al tiempo de hacer la nivelacion puede determinarse las pendientes y cotas rojas de la parte rectificada, formando un estado con los datos necesarios. De este modo se abrevian los

Digitized by Google

trabajos de gabinete y se pueden hacer las operaciones convenientes sobre el terreno en los desmontes ó terraplenos que sean escesivos.

Si se quiere hallar la cota de un punto y la pendiente no fuese uniforme entre este y el primero á que ha de referirse, se determina antes las cotas del punto de inflexion.

Digitized by Google

Modelo del estado que debe formarse.

1.ª Número de las señales ó estaquillas.	2.ª Distancia entre las estaquillas.	3.ª Bajando, signo —, subiendo +, para las distancias de la columna 2.ª	4.ª Desmonte +C: Terraplen -C, ó cota roja al estremo de la pendiente.	NIVELACIONES. Atras N ó cota negra.	NIVELACIONES. Adelante N' idem.	Cota que se busca. $C'=(N\pm P\pm C)-N'$
1	»	0,00	—4,62	»	»	
2	15	0,51	—3,29	2,56	0,72	
3	15	0,51	+2,36	6,26	0,10	0,51+6,26+2,36=9,13
4	18	0,61	—0,88	0,89	3,32	

Digitized by Google

El órden que debe seguirse en el trazado de las cotas es el de marcarlas primero en el perfil longitudinal y referirlas despues al punto correspondiente del transversal: así se fija la posicion de este perfil y se calculan despues sus diferentes cotas rojas.

Cálculo de las líneas de paso.

Al tratar de las diferentes formas que pueden tener los perfiles transversales y de las superficies que terminan los sólidos de desmonte y terraplen, se dijo que la interseccion del plano rasante del camino (no teniendo en cuenta cunetas ni caja) con las superficies del terreno, daba las líneas de paso, que indicaban la separacion del desmonte y terraplen.

Para el cálculo del movimiento de tierras, se supone dividido el trozo de camino comprendido entre dos perfiles transversales en otros volúmenes parciales comprendidos entre dichos perfiles y planos verticales paralelos al eje. Estos planos se hacen pasar por todos los puntos en que hay encuentro de líneas, bien sea del terreno ó del camino. Tales son, la línea inferior de los taludes, intersecciones de las superficies del terreno, arista superior de los terraplenes y puntos de paso. En el caso de que se hubieran de calcular los desmontes de cunetas y caja, se complica la construccion, pues *hay* que hacer pasar planos verticales por sus aristas superiores é inferiores.

De este modo se obtienen sólidos terminados por caras cuyas formas son triángulos, trapecios, cuadriláteros y paralelógramos. En las curvas del camino, los planos verticales se convierten en superficies cilíndricas de eje vertical, y las líneas, que se ha supuesto rectas en los casos anteriores, en hélices, que en el desarrollo del cilindro se convierten en rectas; pero siendo los radios considerables se supone para la division, que estas superficies son planos, para lo cual se trazan los perfiles transversales mas próximos.

Cada uno de los planos verticales paralelos al eje corta á las líneas de paso en un punto, y estos unidos entre sí determinan dicha línea.

Pueden determinarse los puntos de paso por el cálculo de sus

Digitized by Google

distancias á las secciones transversales, entre las cuales se hallan comprendidos; ó tambien gráficamente adaptando al plano horizontal las dos rectas, que contienen en su interseccion estos puntos. Veamos como se determinan por el primer método.

El punto de paso en el plano vertical, que pasa por el eje, está dado inmediatamente en el perfil longitudinal y es aquel en que la rasante corta á la línea del terreno. No hay mas que proyectar este punto sobre la línea media que corta á todos los perfiles transversales, para obtener el punto de paso en cualquiera de las intersecciones producidas por planos verticales paralelos al eje.

Sea (*a*) (Fig. 35) la seccion longitudinal paralela al eje dada por un plano vertical entre dos perfiles transversales *Ar, Bt'* y adaptada en (*b*) al plano horizontal. Esta seccion longitudinal se supone dada por el punto *r* interseccion del talud del desmonte con el plano rasante; *Tt'* será la interseccion del plano vertical con la superficie alabeada del terreno, *rr'* la interseccion del mismo plano con el plano rasante.

El punto *P* interseccion de las dos líneas anteriores, es el de paso, cuya posicion quiere fijarse por su distancia horizontal *pd* á una de las secciones transversales.

Los dos triángulos semejantes *tpr, t'pr'* dan $tr : t'r' :: pd : pd'$ ó $tr : tr+t'r' :: pd : pd+p'd'=dd'$

$$pd=\frac{tr\times dd'}{tr+t'r'}$$

Lo que dice, *que la distancia de un punto de paso al perfil transversal que se ha elegido, es igual á la cota roja correspondiente á este perfil multiplicada por la distancia horizontal entre los dos transversales y dividido el producto por la suma de las cotas rojas en ambos perfiles.*

Tambien puede hallarse la distancia del punto de paso á la seccion transversal en funcion ó valor de las pendientes de la rasante y de la línea del terreno, cuando esta es conocida.

En el caso de la fig. 35 en que dichas pendientes están en

Digitized by Google

sentido inverso, si se representa por P la pendiente de la rasante rr del camino y por P' la de la linea tt' del terreno, ambas por unidad, se tendrá

$$dr=P\times dp,\quad td=P'\times dp$$

$$dr+td=(P+P')dp,\quad dr+td=tr$$

$$dp=\frac{tr}{P\mp P'}$$

ó sea la distancia horizontal igual á la cota roja dividida por la suma de las pendientes por unidad.

Si ambas pendientes van en el mismo sentido

$$dp=\frac{tr}{P-P'}.$$

Las líneas de paso se marcan generalmente con tinta azul para distinguirlas con facilidad.

Métodos gráficos para hallar los puntos de paso.

El método mas espedito para hallar los puntos de paso es el que suministra la geometría descriptiva y se reduce á encontrar las intersecciones de las superficies planas con otras alabeadas. En este caso, las primeras son los planos verticales paralelos al eje y los que forman los taludes ó escapes del desmonte ó terraplen, y las alabeadas las que se supone forman el terreno.

La fig. 36 representa una seccion longitudinal dada por el eje del camino $A'B'$; At es la línea del terreno y rr la rasante, las cuales son producidas por las intersecciones del plano vertical de la seccion con el terreno y con el plano rasante.

En la proyeccion horizontal de la figura, se indican las secciones transversales adaptadas al plano horizontal girando sobre las Ar y Bt.

Si por los puntos de encuentro de las varias líneas que forman los contornos de ambos perfiles ab, cd, se hacen pasar planos verticales paralelos al eje, como se ha indicado ya, cortarán al terreno

Digitized by Google

segun líneas quebradas, las cuales se ha dicho que deben considerarse como rectas y generatrices de la superficie alabeada del terreno. Estas líneas encuentran al plano rasante en puntos que son los de paso, y unidos todos entre sí dan las líneas.

Tomemos como ejemplo el punto *a*, interseccion del talud; se tira $g'g'$ que representa la traza horizontal del plano vertical paralelo al eje; este plano corta en el perfil de la izquierda al terreno en el punto g', cuya altura desde el plano de nivel *Ab* será $A''g'$. Esta altura se llevará desde *A* á *g* en la proyeccion vertical; lo mismo se hará en el perfil de la izquierda respecto del punto g', llevando la altura $g'B''$ desde *B* á *g* y la línea *gg* será la interseccion del plano vertical referido con el terreno, y su encuentro p' con la rasante, dará un punto de paso, que proyectado horizontalmente será p''. Lo mismo se hará por los demas puntos *e*, *c*, *b*, etc. procediendo como se ha esplicado para el plano *gg*. Uniendo los diferentes puntos que se obtengan resultarán las líneas de paso. El punto medio pp^{IV} está dado por la seccion que pasa por el eje.

Para determinar la proyeccion horizontal de la interseccion del talud *ac* con la superficie del terreno, obtenido ya el p'', que corresponde al punto de paso de la interseccion referida, se procede del modo siguiente:

Siendo el punto *c* el estremo de esta interseccion se proyectará en el plano de referencia en el punto c' y unido este punto con el de paso p^{II}, la línea $c'p''$ representa la interseccion del talud con el terreno. Esta línea no seria recta, sino en el caso de que la superficie del terreno fuese un plano; sin embargo, para mayor sencillez se supone que lo es, sin que resulte por esto gran error en la práctica. En el caso de que quisieran hallarse puntos de esta curva se trazarian planos auxiliares paralelos al eje entre los puntos *a* y *c*, y se hallarian las proyecciones de los puntos de interseccion como se esplicó para la línea $g'g'$. Del mismo modo se procederá para los demas taludes ó escarpes.

En el caso de tener marcadas en el perfil las cunetas, no se uniria el punto c''' con el p'', sino con el que se hubiese encontrado

Digitized by Google

correspondiente á la arista interior de la solera de la cuneta, por ejemplo, con el punto *o*, que se indica en la figura. Pero el error que se comete es poco sensible y en nuestro concepto es mas conveniente simplificar de este modo el cálculo de los desmontes y terraplenes.

Cubicacion.

Para determinar el volúmen de estos ó su cubicacion, hay varios métodos. Los unos llamados exactos y los otros aproximados, que son mas espeditos que los primeros. En aquellos hay que hacer descomposiciones y cálculos mas numerosos, empleándose por consiguiente un tiempo mayor con poca utilidad. Ademas los métodos llamados exactos tampoco lo son, rigurosamente, pues se sustituyen á las superficies del terreno otras figuras geométricas, que solo tienen cierto grado de aproximacion. Puede obtenerse la suficiente exactitud en la práctica disminuyendo convenientemente la separacion ó distancia entre dos perfiles consecutivos.

Generalmente se emplean los métodos aproximados, que son dos; uno el del área media de las secciones estremas, y otro el del área de la seccion media. Describiremos estos dos métodos como los mas frecuentemente empleados, sin perjuicio de indicar tambien los exactos.

Método del área media de las secciones estremas.

El método llamado del área media de las secciones estremas, consiste en multiplicar esta área de dos secciones transversales contiguas por la distancia horizontal que las separa. Examinemos diferentes casos que se pueden presentar.

Primer caso: cuando el sólido es todo en desmonte ó en terraplen. Sea l la distancia entre las secciones transversales del camino, d y d' las superficies de estas, cuando esten en desmonte, y t y t' cuando estén en terraplen, se tiene para el volúmen comprendido entre dos de los primeros

$$v=\frac{d+d'}{2}l$$

Digitized by Google

y para el comprendido entre los segundos

$$v=\frac{t+t'}{2}l.$$

Segundo caso: cuando entre dos perfiles, parte del camino está en desmonte y parte en terraplen, pero de modo que se correspondan estos como en la fig. 37. Se procede separadamente para cada parte como se ha indicado antes: así para el desmonte se tendrá:

$$v=\frac{d+d'}{2}l$$

y para el terraplen

$$v=\frac{t+t'}{2}l.$$

Tercer caso: cuando no se correspondan las superficíes de desmonte y terraplen (Fig. 38).

Si se representa por l_1 y l_2 l_3 y l_4 las longitudes de las partes en desmonte y en terraplen que representamos por t y d, t' y d' y que se consideran proporcionales á la total, se tendrá:

$$l_1=\frac{t}{t+d'}l;\ l_2=\frac{d'}{t+d'}l;\ l_3=\frac{t'}{t'+d}l;\ l_4=\frac{d}{t'+d}l.$$

Los volúmenes para la parte de la izquierda de la figura serán:

$$Terrap.=\frac{tl_1}{2};\qquad Desm.=\frac{d'l_2}{2}$$

y para la parte de la derecha.

$$Terrap.=\frac{t'l_3}{2};\qquad Desm.=\frac{dl_4}{2}$$

y sustituyendo los valores de l_1 l_2, etc.

Izquierda. $Terrap.=\frac{t^2}{t+d'}\frac{1}{2};\qquad Desm.=\frac{d'^2}{t+d'}\frac{1}{2}$

Derecha. $Terrap.=\frac{t'^2}{t'+d}\frac{1}{2};\qquad Desm.=\frac{d^2}{t'+d}\frac{1}{2}$

Digitized by Google

Cuarto caso. Cuando uno de los perfiles está todo en desmonte ó terraplen y el otro parte en desmonte y parte terraplen (Fig. 39). Se divide por la línea *ab* el perfil que está todo en desmonte ó todo en terraplen, en dos partes d' d''. La parte de la izquierda se calculará como se esplicó para el primer caso y su volúmen será

$$\frac{d+d'}{2}\ l.$$

La parte de la derecha como en el tercer caso y se tendrá:

$$Terrap.=\frac{tl_1}{2}; \qquad Desm.=\frac{d'l_2}{2}$$

Siendo $$l_1=\frac{t}{t+d'}\ l; \qquad l_2=\frac{d''}{t+d''}\ l$$

En las curvas se toman para las distancias l l, etc. las longitudes en proyeccion horizontal de las que unen los centros de gravedad de las superficies en desmonte ó terraplen correspondientes. Siendo el radio de las curvas considerable y de corta longitud dichas distancias, bastará tomar estas sobre la misma curva del eje del camino.

Si una de las secciones entre las cuales está comprendido el volúmen de desmonte ó terraplen es mas ancha que la otra, tirando uno de los planos verticales paralelos al eje por el estremo del mas estrecho, habrá de esceso una pirámide cuyo volúmen será $\frac{b}{3}l$; siendo b la base y l la distancia entre perfiles.

Cuando las áreas son todas en desmonte ó terraplen en ambos perfiles transversales, se demuestra por el cálculo que el método de aproximacion dá un resultado idéntico al que resulta cuando se emplean las fórmulas del método exacto. (Endres, *Manual del conductor de puentes y calzadas*, pág. 325.)

Para que sea uno mismo el denominador de las fórmulas halla-

Digitized by Google

das para los volúmenes y el de la espresion de la pirámide, se toma para dicha espresion $\frac{b}{2}l$, y el error es de $\frac{1}{6}$ de la base de dicha pirámide, cuyo esceso no es de consideracion y puede despreciarse. Si se quiere no obstante hacerlo con exactitud, se calcula separadamente esta pequeña base y se resta $\frac{1}{6}$ del área que se obtenga.

Cuando el volúmen de los trozos comprendidos entre dos perfiles transversales es todo en desmonte ó en terraplen, la seccion paralela equidistante que se trace entre los dos perfiles estremos, se puede suponer proporcional á ellos. Si en el trapecio (Fig. 40) a y b representan las longitudes proporcionales á las áreas de los perfiles estremos, y l la distancia entre ellos, la paralela c á la primera línea será proporcional al área de dicha seccion media. El área del trapecio total cuya espresion es $\frac{a+b}{2}l$ es proporcional al volúmen que representa del sólido comprendido entre estos perfiles a y b, cuyo valor se ha espresado por las fórmulas anteriores.

Cuando uno de los perfiles transversales está en desmonte y el otro en terraplen (Fig. 41), siendo las líneas a y b proporcionales á las áreas de los perfiles transversales que estas líneas representan, l_1 l_2 las alturas de los triángulos proporcionales á a y b, los volúmenes de d y t estarán representados por el área de estos triángulos.

El punto p no debe en este caso confundirse con los puntos de paso que se esplicaron anteriormente, pues solo son puntos de encuentro, determinados como acaba de esplicarse, para obtener un medio aproximado.

Método de la seccion media.

El método de la seccion media entre las áreas estremas, propuesto por el ingeniero Mr. Noel en una memoria inserta en los *Ana-*

Digitized by Google

les de puentes y calzadas de 1836, consiste en sustituir á la semisuma esplicada antes el área de una seccion transversal equidistante de las estremas. La espresion del volúmen del sólido comprendido entre estas, seria en este caso el área de la seccion media por la distancia entre las estremas. Para que sea suficientemente exacto este método, es necesario que estén bastante próximos los perfiles á fin de que no haya gran diferencia en la forma del terreno.

Método llamado exacto

Para la cubicacion de desmontes y terraplenes hay que verificar la descomposicion en sólidos parciales del volúmen comprendido entre dos perfiles transversales, por medio de planos verticales paralelos al eje, trazados por todos los puntos de encuentro de líneas.

Cada sólido ó volúmen parcial estará formado por los dos planos verticales al eje; por la parte correspondiente de los perfiles transversales comprendidos entre estos, si son en desmonte ó en terraplen, ó entre ellos y las líneas de paso; por el plano rasante del camino y por la superficie del terreno. Los sólidos de los costados estarán terminados por los planos verticales, por la parte correspondiente de los perfiles, por la superficie del terreno y por los planos de los taludes.

En el caso en que se considerasen las cunetas y caja, resulta mucha mayor complicacion de sólidos por hacerse pasar, como se ha dicho ya, planos verticales por todas las aristas; de suerte que, en el caso de ir en desmonte todo el camino, habria que determinar seis sólidos mas, lo que complica mucho el cálculo; así es que debe simplificarse, como hemos ya dicho antes, determinando por separado cunetas y cajas.

Las proyecciones horizontales de estos sólidos pueden ser trapecios, cuadriláteros, paralelógramos ó triángulos. Este último caso tiene lugar en los sólidos laterales que terminan los taludes. En cada sólido se toma por base la proyeccion horizontal indicada y por alturas las cotas rojas en los ángulos.

Digitized by Google

Caso de ser la base un triángulo.

Consideremos primero el caso de ser el sólido un prisma triangular (Fig. 42). El volúmen de un prisma triangular se descompone en tres pirámides: la base es *a* y las alturas son las perpendiculares á esta tiradas desde *i*, *d*, *e*.

El plano *B* normal á los aristas divide el prisma en otros dos, cuyos volúmenes serán el producto del área *B* por la suma de alturas ó distancias respecto de *a* y *b*. La suma de estos volúmenes ó el total será

$$v = B\frac{C+C'+C''}{3},$$

siendo *c*, *c'*, *c''* las longitudes totales ó distancias entre las caras *a* y *b*. Esto indica que el volúmen de un prisma triangular es igual al área de la seccion normal á las aristas (ó proyeccion del prisma sobre este plano), multiplicada por el tercio de la suma de las mismas. En el caso de los desmontes y terraplenes la base *a* es el plano rasante, la *b* la superficie alabeada del terreno que se sustituye por un plano, y *c*, *c'*, *c''* las cotas rojas.

Si $c=0$, $c''=0$, resultará $v=\frac{1}{3}Bc$, que es el volúmen de una pirámide.

Caso en que sea la base del sólido un cuadrilátero.

Consideremos el caso en que la base sea un cuadrilátero y los demas que de este se deducen.

Sea (Fig. 43) *P* un cuadrilátero que representa el plano rasante, *B* la proyeccion del sólido sobre un plano horizontal, *abed* la superficie alabeada del terreno cuyas directrices son *ae* y *bd*. Si por los puntos *a*, *b*, *d*, y por los *a*, *e*, *d*, se hacen pasar dos planos, se cortarán segun la línea *ad*. Si se hacen pasar otros dos planos *bed* y *abe*, su interseccion será *bc*. La pirámide que forman estos planos puede tener su vértice en *a* y ser *bed* su base. La superficie alabeada divide en dos partes equivalentes á la pirámide, lo cual puede probarse tirando un plano paralelo á las líneas *ab* y *ed*; las líneas

Digitized by Google

mq y *np* de la interseccion serán paralelas á *ab*. La diagonal del paralelógramo, interseccion del plano y la pirámide, divide en dos partes proporcionales á los lados *ae* y *bd* y en el triángulo

$$\left.\begin{array}{l} abd \text{ se tiene } dn : na :: dp : pb \\ \text{en el } aed \quad dn : na :: em : ma \end{array}\right\} dp : pb : em : ma.$$

La diagonal indicada, que es la generatriz de la superficie alabeada, divide al paralelógramo en dos partes iguales, lo que se demuestra para todas las generatrices, y por consiguiente la superficie alabeada divide en dos partes iguales la pirámide.

El volúmen total comprendido entre la superficie alabeada superior y la proyeccion horizontal *B*, estará compuesto de dos prismas triangulares *abe*, *lfh* y *ebd*, *fhg*, que representaremos por *p* y *p'*, y ademas, del volúmen de la pirámide superior, que llamaremos *T*, ó del correspondiente á los prismas *abdlfg* y *adelhg*, que se designarán por *P* y *P'*, menos la mitad de dicha pirámide, esto es:

$$v' = p + p' + \frac{1}{2}T, \qquad v' = P + P' - \frac{1}{2}T$$

sumando

$$V' = \frac{P + P' + p + p'}{2}$$

Para cada uno de estos prismas se está en el caso de lo demostrado para el caso de ser triangular, y siendo $B_1\ B_2\ B_3\ B_4$ la superficie de sus bases, a, a', a'', a''' las alturas del prisma total, $b, b', b''\ b'''$ las alturas comprendidas entre la proyeccion *B* y dicho plano, se se tendrá para el volúmen total

$$v' = \frac{1}{2}\left(B_1\frac{a+a'+a''}{3} + B_2\frac{a+a''+a'''}{3} + B_3\frac{a+a'+a'''}{3} + B_4\frac{a'+a''+a'''}{3}\right)$$

El volúmen comprendido entre el plano rasante *P* y la proyeccion *B* será

$$v'' = \frac{1}{2}\left(B_1\frac{b+b'+b''}{3} + B_2\frac{b+b''+b'''}{3} + B_3\frac{b+b'+b'''}{3} + B_4\frac{b'+b''+b'''}{3}\right)$$

Digitized by Google

La diferencia entre v' y v'' será el volúmen del sólido comprendido entre el plano rasante P y la superficie alabeada ó

$$(1)\quad V=\frac{1}{6}\left\{B_1(c+c'+c'')+B_2(c+c''+c''')+B_3(c+c'+c''')+B_4(c'+c''+c''')\right\}$$

Caso de ser la proyeccion un trapecio.

Cuando B en vez de ser un cuadrilátero sea un trapecio se tendrá

$$B_1=B_3;\qquad B_2=B_4$$

y la fórmula anterior (1) se convertirá en

$$(2)\quad V=\frac{1}{6}\left\{B_1(2c+2c'+c''+c''')+B_2(c+c'+2c''+2c''')\right\}$$

Caso de ser la proyeccion un triángulo

Si el trapecio se convierte en un rectángulo, m' y m'', n' y n'' (Figura 45) serán paralelas dos á dos y las segundas perpendiculares á las primeras. La diagonal dividirá el rectángulo en dos triángulos cuyas áreas serán $B_1=\frac{1}{2}mn$, $B_2=\frac{1}{2}m'n'$ y siendo $B_1=B_2$ resulta $m=m'$, $n=n'$. Se obtendrá sustituyendo los valores de B_1 y B_2 en la fórmula (2) y representando el área $m\times n$ por B.

$$V=B\frac{c+c'+c''+c'''}{4}$$

Haciendo en las fórmulas una, dos ó tres aristas iguales á cero se obtienen todas las fórmulas de los volúmenes parciales.

Si se quiere aplicar la fórmula (2) al caso en que hay líneas de paso, se harán cero las alturas en estos puntos, lo que equivale á suponer que todos estos se hallan en una recta, lo cual no es exacto. El modo de obtener las fórmulas exactas para el caso de los puntos de paso, puede verse en el *Manual de caminos de Gayffier*,

Digitized by Google

nota de la pág. 105, pero es mas espedito y suficientemente exacto valerse de los métodos aproximados esplicados antes.

Tablas para los cálculos de desmontes y terraplenes.

Para facilitar los cálculos del movimiento de tierras se han compuesto tablas que abrevian las operaciones.

Las tablas de Coriolis de 1836 están comprendidas entre límites pequeños, y ademas tienen el inconveniente de que es necesario hallar gráficamente los perfiles transversales.

Las tablas publicadas hácia 1838 por la administracion francesa, son algo complicadas y poco espedito su uso.

El ingeniero Fourrier, con objeto de evitar el tener que hallar las superficies de los perfiles transversales, estableció fórmulas aplicables al caso de un terreno cuya pendiente transversal fuese uniforme de cada lado del eje del camino. Para simplificar, considera una línea media de compensacion en la caja del firme, en vez de tener esta en cuenta para los cálculos.

Las fórmulas que deduce están en funcion del ancho del camino, de la cota roja central, de la pendiente transversal del terreno y de la correspondiente al talud del desmonte ó del terraplen. Están calculadas las tablas de centímetro en centímetro de altura y para anchos de perfil de 8 y 10 metros entre cunetas. Tambien se establece el modo de pasar al caso en que sean dos las pendientes transversales del terreno. Este método se indica tambien en el *Manual de caminos de Gayffier*.

Las tablas gráficas dadas en 1843 por la administracion á los ingenieros de Francia, para calcular las superficies de desmonte y terraplen en los caminos de hierro de dos vias, están fundadas en principios que se esplican en una memoria del ingeniero Lalanne inserta en los *Anales de puentes y calzadas*, 1846.

En estos mismos *Anales* se insertan las tablas calculadas por Mr. Macaire para perfiles de 10 metros entre cunetas, taludes de 45° en desmonte y de 1 de base por 45 de altura en los terraplenes, y cunetas de 1,3 metros de ancho.

Segun el informe del ingeniero Mr. Lalanne, tienen estas tablas

Digitized by Google

el inconveniente de que es difícil retener la clave del método. Son muchas las operaciones que hay que verificar y es necesario buscar cuatro números en las tablas, no siendo ademas aplicables sino á un solo ancho de cuneta, é inclinaciones determinadas de taludes.

En los referidos *Anales* año de 1849, están las tablas gráficas de Mr. Davaine que tambien critica Lalanne en los *Anales* de 1850, pues segun él no simplifican, como su autor supone, las formadas en 1843 por el mismo Lalanne, ni son aplicables cuando varia el talud. Ademas algunas líneas que son rectas en las tablas de 1843, son hipérbolas en las de Davaine, mas difíciles de construir con exactitud.

Las fórmulas propuestas en 1849 por el ingeniero Mr. Sallebert, solo sirven para el caso en que la seccion transversal del terreno se supone una línea recta en toda la estension del perfil. Las fórmulas están en funcion del ancho del perfil, inclinacion de taludes, cota roja central y seccion de las cunetas.

En la cuarta edicion de la obra de Sganzin, *Programa de un curso de construccion*, t. 4.° se incluye una coleccion de tablas para abreviar los cálculos de desmontes y terraplenes, recopiladas y arregladas por Lalanne, incluyendo las de Coriolis y otras publicadas hasta 1842. Comprenden solo las cotas de 20 en 20 centímetros para inclinaciones transversales del terreno de 0,05 en 0,05 y anchos de 4 á 12 metros entre las aristas interiores de cunetas.

Cuando en las secciones haya diferentes clases de terreno y sea necesario determinar separadamente sus volúmenes por la diferencia de costo que hay en el desmonte, se complican algo los cálculos. A veces se hace la cubicacion como si fuese terreno homogéneo y se asigna un precio medio á la unidad del desmonte.

Equivalencia entre los desmontes y terraplenes.

El movimiento de tierras en la construccion de un camino en terrenos quebrados es una de las obras que mas hace subir á veces el costo, y por esto es necesario estudiar el modo de evitar que no se produzcan estos movimientos, sino de la manera mas económica y conveniente que sea posible.

Digitized by Google

Para esto es necesario que los trasportes se reduzcan á un mínimo, bien sea cuando las tierras de los desmontes se conduzcan para emplearlas en los terraplenes, ó cuando se formen con ellas caballeros. Se procura obtener equivalencia entre los desmontes y terraplenes, sin perjuicio del arreglo conveniente de las rasantes.

Para arreglar la cantidad de los desmontes y terraplenes de modo que se establezca la compensacion, hay necesidad de subir ó bajar el eje del camino, bien sea en el plano ó superficie vertical en que estaba trazado, ó desviándole de su direccion primitiva.

Pero antes de establecer esta equivalencia es necesario examinar si es mas conveniente el tomar las tierras de préstamo para todo ó una parte del terraplen y echar las tierras de los desmontes á un lado formando caballeros.

Para establecer la comparacion hay que ver cuál es el precio que resulta para las tierras conducidas desde el desmonte para cierto volúmen de terraplen, comprendiendo el tiempo de carga. Si el precio de trasporte de la unidad de desmonte que se tomare es p á la unidad de distancia, que puede ser el kilómetro, á la distancia D, el precio será pD, mas el precio de la carga comprendido en p.

Llamemos p' el precio de trasporte cuando las tierras se toman del costado del terraplen para construir este: e' el costo de la escavacion para sacar las tierras, i la indemnizacion del terreno de donde se estraen estas, p'' el esceso de gasto por vaciar las tierras sobrantes del desmonte al costado de este en la cantidad equivalente á la que se emplea en el terraplen, a el costo del arreglo de estas tierras, i el de indemnizacion del terreno que ocupen los caballeros de tierras sobrantes. El costo total del terraplen con tierras de préstamos, si se llama t su volúmen y p el precio por unidad de distancia, será

$$Tp=p'+e+i+p''+a+i'.$$

Alguna de estas cantidades puede ser cero como i é i'.

Digitized by Google

Se toman todas estas cantidades referidas á la unidad del volúmen ó al volúmen total, segun convenga.

Por medio de este cálculo pueden aproximadamente fijarse las distancias límites á que conviene conducir las tierras, lo cual fijará por consiguiente hasta qué punto debe exigirse la equivalencia: para encontrarla puede tantearse la pendiente oportuna haciendo mover algunas rasantes paralelamente á sí mismas en los perfiles transversales.

Aun empleando el cálculo y tablas que se indican luego, hay que establecer aproximadamente la compensacion por tanteos para no tener que rehacer con tanta frecuencia los cálculos, si no satisface el resultado que se encuentra.

Uno de los métodos que hay para calcular estas equivalencias consiste en determinar los volúmenes de desmonte y de terraplen dados por cada rasante fijada por tanteo, y hallando la diferencia entre ellos, igualar á cero. Despues se dan diferentes valores á las cotas rojas y se deducen por último ecuaciones que dan el de la cota roja central, y este valor indica lo que ha de subir ó bajar el estremo de la rasante, para establecer la compensacion.

Para abreviar las operaciones se han calculado tablas que dan á conocer lo que se ha de subir ó bajar la rasante. En ellas están calculados los términos constantes y los coeficientes relativos á la cota roja estrema de la rasante. Pueden verse estos cálculos en el *Manual de Gayffier*.

Las tablas publicadas en 1853 por Mr. Bony tienen por objeto el hallar directamente la superficie de desmonte y de terraplen equivalentes. Están calculadas para anchos de camino de 6 y 8 metros en terreno llano y en ladera; indicándose igualmente su aplicacion á otros anchos. Las fórmulas que sirven de base á estas tablas resuelven el problema siguiente:

Dada la pendiente del terreno en el perfil transversal y la inclinacion del talud ó escarpe del desmonte ó del terraplen, hallar la superficie de compensacion.

Digitized by Google

Forma de los caballeros.

Cuando se forman caballeros con la tierra sobrante de los desmontes puede calcularse la forma mas conveniente que han de tener, para que su costo sea un mínimo. Las fórmulas dan en este caso para la longitud de la base, 15 veces la altura del trapecio que forman los frentes; esto cuando se emplean carretillas en el trasporte, que es el caso mas general. Esta diferencia entre la base y altura es menor en el caso de emplearse carros.

CUARTA SECCION.

OBSERVACIONES RELATIVAS AL PROYECTO DE UNA CARRETERA.

Trabajos de campo y de gabinete.

En el proyecto de una carretera hay dos clases de operaciones; unas sobre el terreno, ó sean los trabajos de campo, y otras que constituyen el estudio de gabinete.

Los trabajos de campo se componen de los reconocimientos, tanteos, nivelaciones y demas operaciones relativas á la determinacion de todos los datos que han de servir para formar el proyecto, ya sea definitivo, ya solamente ante-proyecto cuando el estudio sea de importancia y el trazado ofrezca dificultades.

En los trabajos de gabinete, se ordenan y estudian los datos adquiridos, se ejecutan los cálculos y se dibujan los planos para formar el proyecto con los documentos que marcan los formularios aprobados por la Direccion de obras públicas en 28 de abril de 1846.

Reconocimientos.

Carecemos, desgraciadamente, de una carta exacta y detallada de la Península que pudiera servir de guia en las primeras operaciones de reconocimientos y tanteos y con la que se evitarian muchas esploraciones y estudios del terreno, siempre difíciles y prolijos y no pocas veces inútiles, por conducir á resultados inadmisibles, que de otro modo podrian preveerse.

En los reconocimientos se aprecian aproximadamente las difi-

Digitized by Google

cultades; pero á la vista se producen errores en las pendientes generales del terreno.

Pueden tomarse alturas generales en los proyectos de consideracion por medio del barómetro y llevar una brújula pequeña de alidadas para orientar algunos puntos principales. La stadia es tambien á veces muy útil en los reconocimientos. Debe formarse un croquis en que se anoten las alturas y distancias aproximadas; estas pueden apreciarse por el tiempo de marcha, por la comparacion con carreteras próximas y por otros medios igualmente sencillos.

En los reconocimientos deben acompañar prácticos del pais que conozcan el terreno y puedan informar sobre los datos necesarios relativos á las crecidas de los rios y arroyos, pertenencias y valor de terrenos, y otros que puedan ser convenientes. Asimismo se anotan los relativos á la poblacion y estadística de riqueza de los pueblos, precios de jornales y de materiales y puntos donde estos últimos se encuentran. Deben recorrerse todos los sitios por donde se presuma que puede ser conveniente el trazado, y si es posible en los dos sentidos. Para descubrir terreno se elijen las alturas naturales ó las de ciertos edificios, como campanarios, castillos, etc.

Con los datos adquiridos en el reconocimiento se examina como primera aproximacion si el desarrollo será posible, escluyendo los puntos difíciles ó que no se juzguen convenientes y así se fijarán los que deban ó no estudiarse.

Anteproyectos y proyectos.

Cuando se hace anteproyecto, consta este de un perfil general á grandes niveladas, para cuya formacion es muy útil el eclímetro y la brújula, de perfiles transversales en los puntos notables y de los demas datos necesarios para ver si el desarrollo es posible. Estos estudios se hacen en diversas direcciones y por la comparacion de los distintos trayectos queda mas circunscrito el trazado que ha de elegirse, procediendo últimamente á estudiar todas las líneas dudosas ya sea entre los puntos estremos ó bien en trozos parciales y presentando en algunos casos los diversos resultados á fin de que el gobierno elija.

Digitized by Google

En el proyecto definitivo hay que detallar todas las operaciones; las nivelaciones se hacen mas minuciosas, se completan los datos y se fijan con precision la clase y dimensiones de todas las obras y su precio. En el croquis y estado de que se ha hecho mencion al hablar del levantamiento de planos y nivelacion, se detallan los accidentes del terreno anotando la calidad de este en los perfiles.

Es conveniente dejar señalada en el terreno la traza del eje de la carretera, lo cual simplifica mucho el trazado de la obra cuando se procede á su ejecucion, pero es difícil que se conserven las señales cuando se tarda, como generalmente sucede, en realizar un proyecto.

Los perfiles transversales se toman en todos los puntos en donde haya algun cambio sensible en la configuracion del terreno, debiendo estar por consiguiente mas ó menos próximos segun la naturaleza de este. Su estension en los puntos de cambios notables debe ser mayor por si acaso hay necesidad de variar el eje del camino al verificar el proyecto para hacer alguna correccion, y cuando se representa el terreno por curvas horizontales, tienen que estenderse á toda la faja que abrace esta forma de representacion.

Deben tomarse con exactitud los perfiles de los rios y arroyos, y si es posible verificar sondeos, pues estos datos influyen mucho en los presupuestos de las obras.

Representacion del terreno y objetos. Clase del dibujo.

La representacion del terreno en los proyectos puede hacerse por curvas horizontales y líneas de máxima pendiente, segun enseña el dibujo topográfico, ó escribiendo los accidentes y clases de terrenos, que es el método mas ligero. La primera representacion con las curvas acotadas y exactas, se hace solo cuando hay que estudiar algun paso difícil, porque ocupa mucho tiempo determinar los perfiles en el terreno para verificar con exactitud este medio.

Las líneas de máxima pendiente se representan generalmente por medio de plumadas. Pueden darse estas sobre una aguada de tinta de china ó tambien emplear solamente estas aguadas, repre-

Digitized by Google

sentando las diversas zonas del terreno, lo cual es de muy buen efecto.

Los colores no deben emplearse sino en algun caso escepcional y con ligeras aguadas.

La inclinacion de luz que se adopta generalmente es de 45° tomada de izquierda á derecha,

Pocos modelos pueden consultarse para el dibujo topográfico á pesar de las varias cartillas publicadas en Francia. El tratado de dibujo publicado en 1852 por los Sres. Mas y Cañadas puede ser consultado con utilidad.

Se adopta para los signos de representacion de pueblos ú objetos en los planos generales, los de la cartilla publicada en 1841, para la rectificacion del mapa de España.

Digitized by Google

Digitized by Google

SEGUNDA PARTE.

EJECUCION DE LAS OBRAS.

PRIMERA SECCION.

Señalamiento del eje, esplanaciones y rasantes.

Operaciones para el señalamiento del eje.

Cuando se ha de proceder ya á la ejecucion de las obras de una carretera, la primera operacion que habrá de verificarse será el trazar ó marcar el eje. Despues á uno y otro lado de este se tomarán los anchos de la esplanacion y de todas las diferentes partes que constituyen el perfil transversal del camino.

Ademas hay que marcar tambien en el terreno la profundidad de los desmontes y la altura de los terraplenes, para de este modo dejar determinadas las rasantes con la inclinacion fijada en los planos.

Con arreglo á los arrumbamientos señalados en el proyecto, se trazan las alineaciones del eje por medio de las banderolas é instrumentos de medir ángulos, del mismo modo que cuando se verifica el proyecto. Se dejan señaladas estas alineaciones, tanto en las partes rectas como en las curvas, con estaquillas; y para que estas puedan conservarse en su sitio, se debe hacer el señalamiento solo de la parte que ha de ejecutarse inmediatamente y que pueda tenerse á la vista.

Al hablar del trazado se dijo lo conveniente que seria el que pu-

Digitized by Google

diesen dejarse señales en los puntos principales de las alineaciones proyectadas, pues de otro modo es fácil que con poco error que se cometa al hacer el señalamiento definitivo, con respecto á las que se obtuvieren en el proyecto, resulten diferencias de consideracion en los movimientos de tierras.

Operaciones para el señalamiento de rasantes.

Señalado el eje se procede á marcar los estremos de cada rasante. Para esto se tienen las acotaciones en el perfil longitudinal y los puntos á que corresponden en las alineaciones del plano; de modo que midiendo las distancias sobre este cuando está hecho con la exactitud necesaria, se obtienen los puntos que corresponden á los estremos de las rasantes sin necesidad de hacer una nivelacion sobre el eje, pero cuando quiera obtenerse con toda exactitud las rasantes, como sucede en los caminos de hierro, será indispensable el verificar esta nivelacion. Sabiendo de este modo lo que hay que profundizar, cuando el estremo de una rasante esté en desmonte, se abre un hoyo cuya profundidad sea la que marque la acotacion. En el fondo de este hoyo se coloca una loseta, piedra plana ó estaquilla, cuya superficie ó cabeza corresponda á la altura exacta, á que debe quedar el estremo de las rasantes.

Cuando esté en terraplen el estremo referido, se hace un coto ó monton de tierra apisonada, y mejor de mamposteria, sobre el cual se marca la altura, ó tambien puede colocarse un poste de madera.

De este modo marcando á uno y otro lado del eje y en sentido perpendicular á él los anchos de la esplanacion, se procede á desmontar ó terraplenar.

Cuando no se cree suficiente el señalar los dos puntos estremos, por ser de mucha longitud las rasantes ó por haber curvas, se marcan en el intermedio los que se juzguen necesarios del mismo modo que los anteriores.

Es necesario no concluir de desmontar en toda la profundidad que marca la rasante, hasta haber verificado su exactitud. Cualquier diferencia que resultase seria muy perjudicial en el caso de

Digitized by Google

haber escavado de mas, en razon á que habiendo de rellenar ó reponer la parte escedida se produciria un esceso de mano de obra á mas del defecto de solidez del terraplen. Obtenidas las rasantes por los medios indicados, puede verificarse su rectificacion bien sea por medio del nivel ó del eclímetro, tomando grandes distancias. Para marcar los puntos de rasante intermedios, se hace uso de las niveletas.

Empleo de las niveletas.

No puede ser menor de tres el número de niveletas que han de emplearse; dos para fijarlas en puntos ya conocidos de las rasantes y la otra para determinar el que se busca. Cuando quieran marcarse á la vez otros intermedios sin mover las niveletas fijas, habrá necesidad de emplear mayor número.

Las dos niveletas que han de permanecer fijas son de altura igual desde su pié á la parte superior de la tablilla ó muletilla que llevan en su estremo. Cuando una de ellas lleve tablilla de dos colores, su altura hasta la horizontal que divide estos, será igual á la longitud total de la otra.

Las niveletas intermedias ó movibles que han de servir para correr los puntos de rasante, pueden ser de la misma altura total que las fijas ó tener una tablilla corrediza como las miras. En este caso la vara ó jalon de la niveleta tiene varias divisiones, y en ellas está marcada la línea que corresponde á la altura igual á las niveletas fijas. La altura total de las niveletas debe ser de tres y medio á cuatro pies, para que un hombre de mediana estatura pueda dirigir cómodamente las visuales.

Para ejecutar la operacion, se coloca el que la dirige con una niveleta en el punto fijo de rasante, y poniendo la vertical enfila la visual por el borde superior de su tablilla y por el de la otra fijada del mismo modo por un operario.

Si la tablilla de la segunda niveleta está pintada de dos colores, como se dijo antes, la visual se dirigirá á la línea de division.

La niveleta variable, si es de tablilla corrediza, colocada que sea en un punto del terreno y sostenida verticalmente por un ope-

Digitized by Google

rario, hará este que baje ó suba segun sea necesario y lo disponga el que dirige la operacion, hasta que la visual indicada antes pase por el borde superior de la tablilla. El número de divisiones que haya que subir ó bajar desde la línea que marca en la vara ó jalon la altura de las niveletas fijas, será lo que haya que terraplenar ó desmontar.

Cuando la niveleta intermedia ó variable sea de altura fija sin tablilla corrediza, hay necesidad de abrir un hoyo para introducir su pie ó colocar un monton de tierra ó piedra para elevarle, segun que la altura de la rasante en cada punto que se trata de determinar sea menor ó mayor que la de la niveleta.

Por el primer método es, por consiguiente, mas veloz la operacion y se van marcando en cada punto la profundidad ó altura de la rasante solamente con dejar señales que lo espresen, como por ejemplo estaquillas numeradas ó procediendo luego si se quiere á poner los cotos y abrir los hoyos.

Para que el plano rasante del camino quede horizontal en el sentido transversal, es conveniente nivelar á ciertas distancias perpendicularmente al eje. Esto puede verificarse por medio del reglon y nivel de albañil, y en este caso se dejan maestras transversales á ciertas distancias.

SEGUNDA SECCION.

EJECUCION DE LOS DESMONTES Y TERRAPLENES.

Desmontes.

Movimientos de tierras.

Los movimientos de tierras que se ejecutan en las carreteras son, segun se ha esplicado ya al tratar del trazado, los desmontes ó escavaciones y los terraplenes ó adicion de las tierras que son necesarias por faltar al terreno natural la altura, que exijen las rasantes.

Digitized by Google

Escavaciones.

En las escavaciones pueden presentarse diferentes clases de terrenos, como son las tierras flojas ó duras, la grava, arena, y la mezcla de estas con diferentes grados de consistencia ó dureza, y en fin las distintas clases de rocas.

Medios de ejecucion de las escavaciones en tierra.

En las escavaciones de los terrenos flojos, basta á veces para ejecutarlos la pala ó el azadon; pero cuando estos son algo duros, es necesario emplear ya el pico ó zapapico.

Para economizar mano de obra se ejecutan á veces los desmontes, si lo permite el terreno, por masas de gran volúmen, escavando por la parte inferior é introduciendo por esta parte gruesas estacas con azuches de hierro y aros del mismo metal en sus cabezas, para evitar se rajen golpeando en ellas; se clavan en fila en la parte escavada á golpe de mazo hasta que la masa se desprende completamente ó en su mayor parte.

Este sistema podrá convenir principalmente cuando los desmontes tengan alturas de alguna consideracion, pues en este caso podrá obtenerse á veces gran economía de su empleo en la mano de obra de escavacion.

Disposicion de los cortes ó tajos.

Para abrir un desmonte se disponen las cuadrillas por filas ó tandas perpendiculares al eje del camino, de modo que no se estorben lateralmente y que la fila que se coloca detras esté á una distancia conveniente de la tanda que está delante.

Cuando la estension y profundidad del desmonte lo permiten, se hacen cortes escalonados, cuya longitud es de unos 30 metros; distancia que se considera, como se verá despues, conveniente para cada relevo, y de 3,75 de altura.

En cada corte se pone una cuadrilla que empieza por desmontar el volúmen *abc* (Fig. 44). Concluido este retrocede, para quitar el *bcde* mas bajo haciendo las rampas que se indican en la figura. Terminado el desmonte de este segundo sólido vuelve la cuadrilla para desmontar el *cef*; y así sucesivamente hasta el fondo de la escavacion.

Digitized by Google

En los desmontes de poca profundidad, se emplea generalmente el método de escavacion por capas de 30 á 40 centímetros de grueso.

Estraccion de las tierras.

Puede suceder en la estraccion de tierras que estas tengan que trasportarse en el sentido del eje del camino para emplearlas en los terraplenes, ó arrojarlas á la parte esterior del desmonte; ó que haya que conducirlas en sentido perpendicular al camino al costado de este, lo cual equivale á un trasporte vertical por ser mas alta esta parte.

Para verificar la estraccion en este último caso, se abren rampas en los taludes de la escavacion, para poder subir las tierras con las carretillas; y si el trasporte se verifica con espuertas conducidas por obreros, se practican escalones en donde se colocan los operarios para pasar de unos á otros las espuertas de tierra hasta arrojarla en la parte superior.

Cuando no puede establecerse una sola rampa desde la parte inferior del desmonte á la superior, por esceder del límite conveniente su inclinacion, se forman aquellas en zik-zaks unidas por curvas de anchura suficiente para el paso. El límite de las pendientes adoptadas se verá al tratar del trasporte de las tierras. El borde interior de las rampas debe estar en la superficie que ha de quedar definitivamente en el talud.

El ancho de las rampas debe ser el suficiente para que pasen dos carretillas sin estorbarse; sin embargo, vale mas destinar unas rampas para subida y otras para bajada, con el objeto de no abrir un corte tan profundo.

Se volverá á tratar de la disposicion de las rampas y cuadrillas, al hablar de los diferentes sistemas de vehículos empleados para la conduccion de las tierras.

Desmontes en roca.

Del mismo modo que cuando se esplota una cantera, lo primero que se hace para abrir un desmonte en roca es desmontar la parte de tierra que cubre aquella. De este modo se puede proceder con-

Digitized by Google

venientemente á la esplotacion, y aprovechar el material cuando sea necesario para las obras de la carretera.

La roca puede estar en masas, ó en capas de poca ó mucha potencia; y pueden ser de calidad dura ó tierna.

Desmonte sin emplear barrenos.

Cuando las capas son delgadas y las rocas tiernas no hay que hacer uso de la pólvora, como es indispensable cuando son duras.

A veces se presentan las rocas agrietadas, lo cual facilita su estraccion, pues en este caso, del mismo modo que cuando se presenta su formacion en capas, se hace uso de cuñas y de mazas para su esplotacion. Las cuñas que se emplean pueden ser de hierro las cuales se introducen por entre las grietas ó por la union de las capas y se hacen separar trozos de la roca golpeando fuertemente en sus cabezas. Tambien se emplean cuñas de madera dura secadas al fuego, las que se introducen del mismo modo que las de hierro, y mojándolas despues se hinchan y hienden la roca, si esta no presenta demasiada resistencia.

En los casos citados puede tambien desmontarse la roca con el auxilio solo del pico de cantero y piqueta, y del perpal ó barron, introduciendo éste por las grietas ó capas y apalancando la roca hasta conseguir el objeto.

Esplotacion por medio de la pólvora.

Cuando es necesario acudir á desmontar la roca por medio de la pólvora, por exijirlo así su calidad, hay que verificar cuatro operaciones que son: la de abrir el barreno, cargarle, atacar y dar fuego.

Abrir el terreno.

Para abrir el barreno hay que examinar cuales son los puntos mas convenientes para la separacion en trozos, eligiendo aquellos en donde el barreno pueda cebar mejor y producir el mayor efecto. Deben elegirse con este objeto puntos en que no haya grietas; pero no importa que estas estén próximas al barreno, al contrario, en este caso produce mas efecto.

Cuando se da al barreno una direccion perpendicular á la super-

Digitized by Google

ficie del suelo, puede suceder que descargue por la boca cuando se prende, en razon á la resistencia lateral que encuentra el gas que se forma. Cuando el barreno está dirijido hácia una parte muy floja de la roca, el efecto es casi nulo; por lo cual es lo mas conveniente elegir un sitio en donde la roca tenga alguna prominencia y hacerle oblícuo. Por esto si la roca presenta una pared lisa en la cual han de abrirse los barrenos, se practica á cierta distancia una canal ó *descalce* algo ancho y profundo, para que resulte una parte débil por donde se verifique la esplosion y rotura.

En las rocas estratificadas, debe hacerse el barreno de modo que corte á las capas próximamente en ángulo recto.

Para que pueda agarrar la punta del barreno hay que abrir en el sitio en que ha de actuar un agujero pequeño con la punterola y el martillo.

Instrumentos para abrir el barreno.

El barreno consiste en una barra cilíndrica ó cuadrada, de boca biselada y acerada. Tambien suele tener la boca una forma cónica radiada. Estas barras pueden ser para manejarse por uno, dos ó tres operarios; pero generalmente se empieza por abrir el barreno con una barra pequeña.

Para abrir el barreno es necesario golpear en la barra por su parte superior, y hacerla girar próximamente medio cuarto de círculo, para lo cual en los grandes barrenos, uno ó dos operarios tienen cojida la barra hácia su parte media, y otro la golpea cuidando de dirigirla convenientemente los primeros. Las barras cuadradas se manejan mejor. El ancho del bisel debe variar en razon inversa de la longitud de las barras, para que el taladro vaya ensanchando con la profundidad, y pueda entrar y salir la barra fácilmente. Este bisel es siempre mas ancho que el grueso de la barrena. Tambien se puede abrir el taladro sin golpear en la parte superior de la barra manejándola uno ó dos operarios que la hacen subir y bajar girando al mismo tiempo.

Cuando las barras se han de manejar por un operario, tienen sobre 0,7 metros de longitud, y 2 centímetros de grueso, y la pro-

Digitized by Google

fundidad del taladro que se abre con ellas, 30 centímetros. Para el manejo por dos ó tres operarios suele tener unos 2 á 2,5 metros de longitud.

Cucharillas.

Los detritus que forma el taladro se sacan con la *cucharilla*; que es una varilla de hierro con una parte ensanchada en su estremo.

Enlodado del barreno.

Puede suceder que el barreno contenga agua, y en este caso, para que no salpique al abrir el taladro se pone una roldana de cuero. Cuando hay agua esteriormente, se enloda para que no entre en el barreno, operacion que consiste en rodear con arcilla el agujero del taladro.

Cargar el barreno.

Cuando los barrenos están abiertos de arriba abajo puede echarse la pólvora suelta; pero en el caso de estar abiertos de modo que pueda esta salirse, es indispensable echarla en cartuchos de papel gueso ó encolado. Cuando hay humedad se sustituye al papel tela embreada, ó un canuto de hoja de lata.

Es necesario que haya aire interpuesto entre los granos de la pólvora para que dilatándose ayude á la esplosion; por lo que conviene emplear para este objeto la pólvora de cañon. Pero es necesario que este aire no sea escesivo, pues entonces el calórico que se produce, no seria suficiente para elevar la temperatura la cantidad necesaria. Por esto no debe abusarse del empleo del aserrin de hojas secas y arena, que á veces se emplea. Tambien suele ponerse con este objeto en el fondo del barreno un pedazo cónico de madera, que deja algo de aire interpuesto entre el cartucho y el fondo del taladro.

Atacar el barreno.

Despues de introducido el cartucho se llena el resto del barreno con arcilla seca dejando un oido ó pequeño tubo en el centro por donde pueda inflamarse la pólvora. Para abrir el oido se emplea una aguja de cobre que se introduce hasta la pólvora, y se saca ha-

Digitized by Google

ciendola girar con cuidado. Antes de prender fuego se introduce la aguja para romper el cartucho.

Pegar fuego

En el hueco del oido, se coloca la mecha que consiste comunmente en un tubito de papel ó cañon de pluma, caña, ó paja de centeno, relleno de pólvora, bien sea sola ó formando una masilla con aguardiente ó vinagre. Se prende con una pajuela puesta en comunicacion por un estremo con el oido, y de la longitud conveniente para que no haya esposicion á desgracias, dando tiempo á que se retire el operario.

A veces sucede que descarga por la boca el barreno sin producir efecto, que es lo que se llama dar *bocazo*. Tambien suele arder la pajuela y la mecha sin prender el cartucho, lo que se espresa diciendo que el barreno ha dado *mechazo*.

Mechas de seguridad.

Las mechas de seguridad de Bickdfor son muy útiles para emplearlas en vez de las que se han indicado, evitándose desgracias por su empleo. Consisten estas mechas en un forro de cáñamo ó algodon arrollado con un filete de pólvora en el centro y embreado esteriormente, lo cual hace que pueden servir dentro del agua: contienen 11 á 12 granos de pólvora por metro lineal.

Cuando el barreno está muy inclinado se echa la mitad de la carga introduciendo en seguida el estremo de la mecha en el del barreno; despues se echa el resto de la pólvora, poniendo un taco de papel y concluyendo de atacar con arcilla ú otras materias. Si el barreno es horizontal, se deja la pólvora en el cartucho en el cual se ha introducido antes el estremo de la mecha hasta el tercio ó mitad de su longitud, y se sujeta en seguida la mecha al cartucho, doblando el papel todo al rededor. El cartucho se introduce hasta el fondo del barreno con la cucharilla ó atacador y el taco se coloca como antes se indicó.

Para pegar fuego se desenvuelve la cinta por el estremo de la mecha, y se prende la pólvora que queda descubierta, ó bien se rodea con lumbre dicho estremo hasta que se queme la cubierta de

Digitized by Google

algodon y prenda la pólvora. El fuego se comunica así por el alma de la mecha hasta el cartucho. Estas mechas tardan en arder un segundo próximamente por cada 0,56 metros de longitud, pudiendo arreglarse esta convenientemente segun la distancia á que haya de retirarse el operario que practica la operacion. Debe siempre calcularse para mayor tiempo que el que se crea indispensable, pues vale mas tener que esperar algunos segundos, que no esponerse á que la esplosion se verifique antes que haya transcurrido el tiempo necesario para ponerse en salvo el operario.

Esplotacion por cámaras ó cavidades.

El método ensayado en Francia en 1844 por Mr. Courbebaisé, para desmontar las rocas, consiste en abrir en el fondo del taladro ó barreno cámaras ó cavidades en las cuales alojada una gran cantidad de pólvora pueda desarrollar mucha fuerza esplosiva.

El ensayo se verificó en roca caliza abriendo la cavidad por medio del ácido muriático. Se empleó cerca de 5 kilógramos de ácido para abrir una cavidad de 72 centímetros cúbicos, capacidad necesaria para introducir un kilógramo de pólvora. En once dias de trabajo continuo se abria una capacidad de $0^{m}08$ cúbicos. El costo á que salió un barreno de 5 metros de profundidad con 50 kilógramos de pólvora, empleando 178 kilógramos de ácido, fué de unos 800 reales, habiéndose desmontado 470 metros cúbicos de roca.

El sistema de grandes cámaras para efectuar desmontes considerables, ha sido puesto en práctica con buen éxito en Francia é Inglaterra. En el puerto de Holyhead se empleó hace pocos años, para conmover grandes porciones de terreno; se hicieron algunos barrenos cargados con tres toneladas de pólvora. Estos barrenos consistian en pozos verticales del diámetro menor posible; pero de suficiente para permitir la entrada de los operarios. Abiertos estos, se rompian por ellos galerías horizontales de unos 5 metros de longitud á cuyos estremos se practicaban otros dos pozos tambien verticales de unos 4,5 metros de profundidad, y en el fondo de estos se abrian las capacidades para alojar la pólvora.

Digitized by Google

Otra aplicacion en gran escala del sistema de cámaras fué la verificada en uno de los desmontes del camino de hierro de Dover. Se abrió un pozo y por este una galería estrecha, subdividida en otras tres á cuyo estremo estaban las cámaras, y en estas se echaron mas de 8 toneladas de pólvora, prendiendo esta por medio de tres pilas galvánicas, que comunicaban por medie de hilos con la galería. De este modo se conmovieron mas de 300000 metros cúbicos de roca. La estribacion tenia por la parte en que se verificó la operacion, 107 metros de altura, 100 de longitud y 22 de espesor.

Aplicacion del galvanismo á la esplotacion de canteras.

Primeras aplicaciones de la pila.

Hácia el año de 1841 el ingeniero inglés Mr. Roberts, ideó el medio de producir la esplosion de pólvora en la esplotacion de canteras por medio del galvanismo, y en 1842 verificó una aplicacion muy feliz de este sistema, en unas canteras próximas á Glascow. Los efectos se produjeron instantáneamente apenas se pusieron en contacto los discos del aparato. Este procedimiento tiene la gran ventaja de evitar los peligros que hay en la esplotacion por los medios comunes, dando á los hilos conductores la longitud necesaria.

Esplicacion del método.

La invencion de Roberts consistió, en el método especial de cargar la mina ó barreno, y en el empleo del fluido eléctrico para prender la pólvora con mas seguridad y menos peligro.

La mejora en el modo de atacar y cargar está fundada en el hecho siguiente. Si se llena de arena seca un tubo cuyo diámetro sea estrecho y de cierta longitud, aunque se ejerza sobre él una presion, la arena no se saldrá por el otro estremo. Roberts echaba poco á poco arena bien seca en el barreno, de modo que tuviese próximamente un pie de altura sobre el cartucho.

Para la operacion se valió de la pila de Daniel perfeccionada, empleando el sulfato de cobre para la escitacion de los discos metálicos con preferencia á la disolucion de los ácidos sulfúrico, nítrico

Digitized by Google

ó muriático. En la construccion de la pila, sustituyó á las cajas de barro una caja de madera dividida en compartimientos (Fig. 52).

De cada lado de la caja se eleva un montante de madera *A*, de unos 20 centímetros de alto y 4,6 centímetros de escuadría. Estos dos montantes reciben en sus estremos un cilindro de 23 centímetros de diámetro. Hay un disco de estaño *D* de 7 á 9 centímetros de diámetro, el cual tiene en su centro un agujero de unos 2 centímetros; y está soldado al hilo conductor que sale de la placa de zinc del polo negativo. El disco anterior está sujeto á uno de los montantes y atravesado por el eje, el cual pasa por su centro.

Un segundo disco de estaño *E* de la misma dimension que el anterior, del polo negativo, está colocado de modo que pueda correr libremente á lo largo del eje. El agujero central debe tener 3,5 centímetros de diámetro, y estar forrado ó guarnecido de un solo lado por un collar de estaño de 4,5 centímetros. Este collar tiene por objeto sostener el disco móvil referido en una posicion vertical durante su movimiento.

Modo de obrar el aparato.

Si un hilo conductor fijo al polo positivo está unido al disco móvil, y moviéndose este á lo largo del eje se pone en contacto con el disco *D*, la batería entrará en accion, pues habrá comunicacion metálica de un polo con el otro, produciéndose así la corriente eléctrica.

Una doble cuerda *ss* que pasa por dos agujeros del disco *D*, va á fijarse á dos puntos del disco móvil, y luego se unen entre sí á la distancia de 28 centímetros próximamente de la caja, y finalmente se atan á la cuerda que tiene asida el que ejecuta la operacion.

Para que no puedan tocarse los discos antes de que se tire de la cuerda, hay un resorte espiral, el cual está unido al collar *f* del disco móvil, y fijo por uno de sus estremos al montante de madera. La longitud de este resorte, cuando no está tenso, es la necesaria para que el disco móvil pueda estar separado del otro convenientemente, es decir, unos 16 centímetros.

Cuando se tira la cuerda se desenvuelve el resorte poniéndose

Digitized by Google

los discos en contacto ; cuando se suelta aquella se separan los discos, cesa la accion de la batería y ya no hay peligro de aproximarse á la cantera, aunque no haya hecho esplosion.

Para impedir la comunicacion entre los discos fuera del tiempo oportuno, se pone una clavija de seguridad *P* en la mitad del intervalo que los separa, y no se quita esta sino en el momento de ir á prender el barreno.

Colocacion de la bateria y su preparacion.

Para la mayor seguridad debe colocarse la batería á unos 30 metros de distancia de la cantera, y para verificar la operacion se procede del modo siguiente:

Colocada la batería, se toman dos hilos de cobre de una longitud igual á la distancia que haya desde la batería al barreno, y de 0,5 centímetros de diámetro. Estos hilos se envuelven con otro hilo de algodon encerado, y se unen entre sí atándolos con otro fuerte. El todo se envuelve en lacre dejando libres solamente los estremos, en una longitud próximamente de un pie (Fig. 53).

Los dos cabos de uno de los estremos de esta cuerda metálica están sujetos, el uno al disco *E* móvil, y el otro al hilo conductor fijado al polo positivo. Los otros dos estremos que han de ponerse en contacto con la pólvora, están reunidos por medio de un hilo fino de acero.

El calor producido en los metales por la electricidad, está en razon de su diámetro. Cuando las placas galvánicas están sumergidas en el sulfato de cobre, si se colocan los dos discos en contacto por medio de la *tira l*, la electricidad circula desde el polo positivo á lo largo de uno de los hilos acoplados, pasa por el hilo de acero al que pone en fusion, vuelve por el otro hilo de cobre, atraviesa el disco móvil y llega al disco fijo ó polo negativo de la batería.

La figura 54 representa la disposicion de la batería para verificar las operaciones indicadas: *a* y *a* son los hilos conductores del cartucho, *c p* es la parte llena de pólvora, *w* el tapon de paja ó estopa, *x x* los hilos conductores de la batería *d*, *s* el espacio hueco

Digitized by Google

del taco, *t* la arena. El hilo *l* debe bifurcarse en el estremo que se sumerje en la batería y se une al disco móvil.

El taladro debe hacerse profundo, y dejarse bien limpio y seco; lo cual se verifica introduciendo paja y estopa. Se echa despues la mitad de la pólvora, luego el cartucho y encima el resto de la carga. Se introducen en seguida los hilos conductores, se atacan lentamente con un taco de paja ó estopa hasta unos 7 decímetros de profundidad, dejando un espacio flojo, que contiene aire y ayuda á la esplosion, y el resto del barreno se llena con arena. El barreno se ha supuesto de 1,7 metros de profundidad y 4,5 próximamente de diámetro.

Despues de llena la caja de la batería con la disolucion de sulfato de cobre mezclado con un poco de ácido sulfúrico, se coloca el aparato detrás de un parapeto natural ó artificial. Se desarrolla el hilo conductor cuyos estremos libres se unen á los hilos del taladro y en seguida se introducen estos hilos, se vuelven á meter las placas galvánicas en la caja, dos á dos en cada division, se quita la clavija de seguridad *P*; y el que verifica la operacion se coloca al estremo de la cuerda y tirando de esta lentamente pone en contacto los discos.

El cartucho consta de un cilindro de estaño de 8 centímetros de longitud y 2 centímetros de diámetro próximamente. El hilo conductor de unos 6 metros de longitud y doblado en 2, está indicado en la figura 55. El lazo que se forma tiene la figura de un triángulo *B C B* cuyo lado menor *C* se guarnece con un hilo de acero, y el pequeño triángulo que se forma es el que se introduce en la pólvora. Este triángulo debe introducirse de modo que esté en el centro del tubo, sin contacto con las paredes, y para mantenerle en esta posicion, se verifica por medio de un tapon cubierto con una capa de cera (Fig. 56).

Despues de verificarse la esplosion suele encontrarse el estremo del hilo destruido. Concluida la operacion se invierte la batería retirando las placas galvánicas de sus celdas, y se quita la cuerda del disco móvil por medio de la rosca de presion.

Digitized by Google

Cuando el aparato ha dejado de funcionar algun tiempo, suele suceder que las hojas de papel que envuelven el zinc no se impregnan pronto con la disolucion y deja de circular por esta causa la electricidad, por lo que en este caso es necesario dejarlas mojar bien.

Ventajas é inconvenientes en la práctica.

El procedimiento descrito tendrá buena aplicacion para verificar esplosiones de grandes masas de terrenos, y para las que hayan de tener lugar debajo del agua. El costo que ocasiona y la dificultad, aunque no de consideracion, en el manejo de la pila, hace mas difícil su empleo en los casos comunes por no poderse fiar la operacion á los obreros.

Este método recibe en el dia ya muchas aplicaciones, habiéndose ensayado en España en los simulacros que verifican los ingenieros militares.

Escritos que pueden consultarse.

Puede verse el tratado de Moncel *sobre las aplicaciones de la electricidad,* publicado en Francia en 1853, en el cual se indica la disposicion de las pilas para las diversas aplicaciones.

Tambien en los *Anales de minas de Francia de* 1852 se detallan las operaciones verificadas para la esplosion por medio de las pilas, la disposicion de los hilos y diversas circunstancias muy útiles para la práctica.

Herramientas de cantera.

La fig. 45 representa los martillos y almadenas que se emplean para la esplotacion de canteras.

Fig. 46. Punterola.

Fig. 47. Barrenos.

Fig. 48. Atacadera de lodar.

Fig. 49. Cucharilla.

Fig. 50. Aguja.

Fig. 51. Atacadera de la carga.

Digitized by Google

Taludes.

Inclinacion de taludes en los desmontes.

Segun la calidad del terreno es necesario que tengan los costados de las escavaciones mayor ó menor inclinacion para que puedan sostenerse. En los desmontes se da el nombre de talud á la inclinacion referida.

Terrenos de acarreo.

En los terrenos flojos, como sucede en los de acarreo ó aluvion cuando están poco unidas entre sí las partes de que están formados, hay necesidad de dar gran inclinacion á los taludes, á veces dos de base por uno de altura (Fig. 57). Sin embargo, en esta clase de terrenos de piedra rodada mezclada con arena hay algunos que son muy consistentes, y en este caso solo exigen medio de base por uno de altura.

En las tierras vegetales.

En las tierras vegetales flojas se da generalmente al talud uno y medio de base por uno de altura, y cuando estas tienen alguna mas consistencia, se hacen de uno de base por uno de altura.

En las arcillas.

En los terrenos arcillosos puede adoptarse, segun el ingeniero Mr. Sazilly ha demostrado por ejemplos prácticos, la inclinacion correspondiente á uno y medio de base por uno de altura. Si se hiciesen de inclinacion mas suave ó tendida, presentarian mas superficie á las influencias atmosféricas que producen los desprendimientos de las tierras, y en este caso seria conveniente revestir con una capa de tierra el talud. Si se adoptase 45° de talud en estos terrenos, habria mas esposicion á desprendimientos.

En las rocas

Las diferentes clases de rocas pueden tener tambien distinta dureza. Así es que cuando las rocas son cretáceas se adopta un sesto ó un cuarto de base por uno de altura; sin embargo se presentan casos en que estas rocas contienen bolsas de aluvion que se llenan fácilmente de agua y facilitan los desprendimientos, sien-

Digitized by Google

do necesario darles mas talud por esta causa; pero como generalmente por la parte superior es en donde se presentan estas bolsas, siendo mas consistentes en la inferior, se pueden adoptar dos taludes, haciendo el de la parte superior mas tendido que el inferior.

En las rocas no estratificadas, á no ser que presenten alguna escepcion particular, pueden hacerse sus paredes verticales, y aun á veces se hacen en talud inverso ó voladizas, sin embargo que para verificar esto cuando quiera economizarse desmonte, es necesario asegurarse bien de la calidad de la roca, y estudiar si será de fácil descomposicion en lo sucesivo, pues en este caso no debe adoptarse dicho medio.

Hay rocas no estratificadas, como los granitos, que á veces se alteran por la accion de la atmósfera y el hielo, se descomponen, y dan lugar á desprendimientos por esta causa; en este caso hay que dar el talud que segun las circunstancias se juzgue conveniente. A veces cuando las cortaduras son de mucha profundidad, se hacen escalones en vez del talud contínuo en toda la altura del desmonte.

Cuando las rocas son estratificadas, y sus capas horizontales, se pueden hacer los cortes como en el caso anterior. Las capas suelen estar atravesadas por otras verticales ó casi verticales, esquistosas, y en este caso es necesario adoptar un talud de pequeña *in*clinacion.

Lo mismo sucede cuando las capas por su inclinacion están espuestas, á causa de la naturaleza de la roca, á resbalar ó descomponerse fácilmente, en cuyo caso lo mejor es, si se puede, escoger para la traza del camino la parte opuesta de dichas capas, segun se indica en *a* (Fig. 58).

Inconvenientes de dar gran profundidad á los desmontes en ciertos casos.

Cuando los terrenos son muy consistentes, es inútil aumentar la inclinacion de los taludes á medida que aumenta la profundidad de la cortadura ó desmonte. En los terrenos flojos es conveniente tomar esta precaucion, y en este caso es necesario tratar de hacer los desmontes poco profundos; pues sucede, que con el peso de

Digitized by Google

la parte superior del terreno cede la inferior, y se producen desprendimientos en las paredes de la cortadura.

Segun observaciones verificadas en varios caminos de hierro ingleses, hay esposicion en dar una profundidad á los desmontes mayor de 22, á 25 metros, cuando el terreno es de grava y arena.

Taludes adoptados en algunos paises.

En la instruccion para construir las carreteras de Prusia, formada por el gobierno de este pais, se marcan para los desmontes en general tres de base por uno de altura en las tierras comunes, cuando están espuestas al Norte, y dos por uno en los demas casos. Generalmente en los caminos alemanes se adopta el uno y medio de base por uno de altura.

Observaciones sobre la determinacion de taludes.

Segun indica el ingeniero Sazilly seria preferible el determinar la inclinacion de los taludes teniendo en cuenta la naturaleza de las tierras, examinando la que podria darse en cada caso para que no resultasen desprendimientos del terreno. Si este talud no pareciese suficiente para evitar las degradaciones superficiales, se apreciará la inclinacion mas suave que deba darse, calculando el costo que podrá tener. Se calculará tambien el costo que tendria el adoptar un talud mas escarpado y revestido, eligiendo el mas económico.

Para verificar lo anteriormente espuesto, establece Sazilly varias fórmulas, en las cuales hay ciertas cantidades que es necesario conocer directamente. Estas son, el talud natural de las tierras, segun la naturaleza de ellas, y la mayor altura á que pueden sostenerse sin que se produzcan derrumbamientos ó desprendimientos cuando no esté cortado el talud. Tambien exije el conocimiento de la inclinacion que seria necesario dar al talud para que las degradaciones superficiales que se forman por las causas atmosféricas, no tuviesen lugar.

No es posible obtener ninguno de estos datos antes de empezar un desmonte, pero podrá compararse la clase de terrenos de que se trate con otros análogos conocidos, viendo por ejemplo los escarpes que tienen las tierras de caminos abiertos en terrenos de la misma

Digitized by Google

clase. En cuanto á la inclinacion conveniente para que no esperimente degradaciones, la determina la esperiencia del constructor ó ejemplos análogos. Cuando se calcula la inclinacion con objeto de hacer revestimientos con semillas, puede ser de 1,20 ó 1,50 de base por uno de altura.

Establece Sazilly fórmulas para la comparacion de diversos casos, aplicándolas á cuatro ejemplos en los cuales se ve la importancia que tiene la buena eleccion, cuando son muy profundos los desmontes, y muy inclinado el perfil transversal del terreno.

A pesar de la utilidad que podrán tener en algunos casos las fórmulas espresadas, su aplicacion directa no podrá hacerse en la mayor parte de los casos que se presenten al ejecutar un desmonte ó al presupuestarle en un proyecto; y por esta razon no las estractamos.

Ejecucion de taludes.

Para dejar los taludes de los desmontes concluidos y conseguir en lo posible que formen el plano ó superficie curva que ha de quedar, segun estén en partes rectas ó curvas, es necesario verificar algunas operaciones que vamos á indicar.

Marcar las directrices del talud.

A uno y otro lado del eje del camino se toman las distancias á que ha de quedar el borde superior del talud, dada que sea la inclinacion de este, segun se ha indicado para las diversas clases de terrenos; y marcados diversos puntos, se tiran cuerdas de unos á otros sujetándolas con grandes clavos ó estaquillas, ó bien marcando la linea sobre el mismo terreno.

Obtenidas las líneas inferior y superior del talud, se desvasta sin llegar á la superficie definitiva que ha de quedar, y se abren maestras ó directrices de alto á bajo a, a, a', a' (Fig. 59) á distancias próximamente de 5 metros, las cuales deben estar en un plano vertical normal al eje del camino, para que el talud que se tome sea el verdadero.

Para dejar estas maestras con la inclinacion conveniente, es

Digitized by Google

necesario tener baibeles ó plantillas espresamente construidas con dicha inclinacion.

Se componen estas plantillas (Fig. 60) de un reglon *bl* en cuyo estremo *b* se pone un bastidor cuadrado *bcde* con una plomada en *e* y la señal marcada en *bd*, con arreglo á la inclinacion que ha de tener el talud. Tambien se puede disponer de modo que cuando el liston *ac* quede vertical, el reglon *lb* quede con la inclinacion que se quiere obtener (Fig. 61).

Abiertas las maestras, se desmontan las partes intermedias, guiando la operacion por medio de otras maestras normales á las primeras, ó bien por medio de reglones que se van presentando, hasta que se apoyan en las maestras directrices.

En las partes curvas es necesario abrir tanto mas próximas las directrices, cuanto menor sea el radio, para que no resulten inflexiones ó garrotes tan marcados como sucederia si se hiciesen aquellas muy separadas.

Aparatos mecánicos para desmontar.

A los medios comunes de verificar las escavaciones, se han tratado de sustituir máquinas con el objeto de poder ejecutar aquellas con mas velocidad y menor gasto cuando los desmontes son considerables.

Escavador americano.

El escavador americano de Cochrane, se empleó primero en los Estados-Unidos, generalizándose despues para la ejecucion de caminos de hierro, y entre ellos el del Havre. Consta de una máquina de vapor de 12 á 15 caballos de fuerza, colocada sobre una plataforma móvil; de una grua y de una gran pala cóncava ó escavador de hierro, cuyo corte está dentado.

El movimiento se trasmite al escavador por medio de unas cadenas que se arrollan á un torno y pasando por una polea fija en la parte superior de la grua, vienen á unirse al escavador. Una de las cadenas está destinada á producir el movimiento que hace in-

Digitized by Google

troducir dicho escavador en el terreno, y las demas á separarle y conducirle al punto de descarga.

Colocado el escavador á la altura conveniente para verificar el desmonte, se afloja un tope y cae sobre el terreno introduciéndose en él por su propio peso. La máquina de vapor actua despues en una cadena, la cual arrastra oblicuamente el escavador para llenarle, y despues por medio de otras cadenas se levanta, gira la grua y se verifica la descarga en los carros, llenándolos en un minuto próximamente.

Este aparato funciona bien en terrenos arenosos de grava, y en los cretáceos; y en general en todos aquellos que no se adhieren á las paredes de la pala. La altura máxima á que puede actuar es de unos 10 metros. Cuando la escavacion tiene mayor altura se verifica por capas. Este aparato ejecuta la obra de 80 á 90 peones.

El empleo de esta máquina aunque ventajoso en determinadas circunstancias, saldria caro en España. En Francia el coste de cada una de las empleadas en el camino de hierro del Norte, fué de 156,000 reales.

Puede verse el dibujo de esta máquina, entre otras obras, en el manual del *Terrasier* de la Enciclopedia *Roret* y un dibujo pequeño y descripcion de él en el *Boletin de caminos* de 1844, pág. 27.

Ademas del coste de primer establecimiento hay que contar con el sueldo de un maquinista y del encargado de las maniobras. Las reparaciones de la máquina importaban en el camino citado de 3,000 á 4,000 rs. mensuales. Contando con estos gastos y el del combustible, ha resultado el costo del metro cúbico de desmonte á 1,51 reales, verificado el cálculo en un desmonte de 20,000 metros cúbicos.

Arados. Otros aparatos empleados para remover las tierras son los arados, los cuales pueden ser de mayores dimensiones que los empleados comunmente en la labranza; tienen poca aplicacion en los desmontes de carreteras.

Digitized by Google

Datos relativos á la mano de obra en las escavaciones, referidos al trabajo de un buen operario en 10 horas.

Solo el trabajo de escavar.

	Met. cúb.
Tierra comun vegetal segun los datos de varios autores, termino medio	14
Id. mas dura	11
Arena ó grava	12
Grava compacta	7
Tierra margosa ó arcillosa	5,9
Arcilla	3,4
Marga	5
Toba medianamente dura	3
Id. mezclada con piedras	2
Id. muy dura	1,7 á 2,38
Roca á barreno	1,7

Comprendiendo la carga por el mismo operario.

Tierra comun echada de 2 á 4 metros de distancia por el mismo operario, ó elevada á 1m 6 de altura, ó cargada en la carretilla ó carro	8 á 12
Arena ó tierra escavada dentro del agua, cargada en la carretilla ó echada al costado	7 á 10
En las mismas circunstancias arrojada de 2 á 4 metros de distancia ó elevada á 1m 6 ó cargada en carretilla ó carro	6

Los datos anteriores tomados de la obra de Claudel y otras, nos parecen en su mayor parte convenientes para guiarse aproximadamente en los cálculos y presupuestos.

Digitized by Google

Terraplenes.

Métodos de ejecucion

Los terraplenes pueden construirse de dos modos, uno por capas de gran estension y pequeña altura, y otro, avanzando por grandes crestas ó capas de gran altura.

Por capas delgadas.

Cuando se construyen por capas delgadas, son estas de 15 á 30 centímetros de espesor, y se disponen de modo que desde las capas inferiores se va formando el escarpe que ha de quedar: tiene la ventaja este método de que resulta mejor apisonado el terraplen por el tránsito de los carros, recuas ú operarios. El empleo de pisones para este objeto, produce poco efecto y no compensa su resultado el esceso de gasto que ocasiona; así es que dicha operacion debe dejarse solo para el refinado de la esplanacion, y para cuando se construyen terraplenes arrimados á muros ó estribos. La construccion por capas delgadas tiene la ventaja, como se ha dicho, de quedar mejor macizado el terraplen á medida que se forma, sin dejar huecos en el interior, y por consiguiente, no producirse grandes asientos despues de concluidos.

Por gruesas capas ó crestas.

El segundo método de formar los terraplenes por gruesas capas ó por crestas, volcando los carros y avanzando sucesivamente con el terraplen á lo largo del camino, tiene el grave inconveniente de que despues de concluido y á veces aun cuando pase mucho tiempo, bajan demasiado ó *hacen asiento*. Esta circunstancia tiene lugar, no solo porque no pueden, construidos de este modo, apisonarse tan lentamente como cuando se hacen por capas delgadas, sino tambien porque suelen ir mezclados en mucha cantidad con la tierra suelta, grandes terrones, los cuales dejan huecos en el interior. Cualquiera que sea el método que se siga, es necesario tener peones destinados á deshacer los terrones lo que verifican generalmente con el azadon.

La ventaja de este segundo sistema es el de avanzar la opera-

Digitized by Google

cion, empleando menos mano de obra al construirlos; pero su conservacion sale mas cara, á lo menos durante los primeros años.

Aumento de volúmen de las tierras

Cuando se construye un terraplen debe tenerse presente, que las tierras despues de escavadas ó desmontadas aumentan de volúmen, á fin de no hacer escavaciones inútiles y calcular convenientemente la cantidad de tierra que se necesita para formar un terraplen de un volúmen dado. Este cálculo es de mayor interes cuando los terraplenes se construyen con tierras de prestaciones, y hay que indemnizar el terreno que se ocupe.

El aumento de volúmen de las tierras despues de escavadas viene á ser de un décimo en las tierras flojas, un octavo en las de mediana dureza y un sesto en las tierras fuertes, así que habria de rebajarse esta cantidad del volúmen total calculado para la estraccion. Sin embargo, hay que tener presente que los terraplenes hacen asiento despues de construidos.

Este asiento se calcula en $\frac{1}{25}$ á $\frac{1}{30}$ cuando se hacen por capas, cantidad que debe añadirse á la anteriormente indicada, para deducir la tierra qne debe estraerse de la escavacion.

Materiales que se emplean en los terraplenes.

Hemos supuesto anteriormente que se construian los terraplenes con tierras sueltas, que son las mas convenientes para formar un macizo homogéneo. Pero puede suceder haya que construirlos con tierras arcillosas ó arenas, y en este caso se ocurren mayores dificultades. En una seccion especial, en que se trata de la consolidacion de taludes, se indicarán los medios de ejecucion que deben adoptarse en los casos indicados.

Suelen construirse tambien los terraplenes en la proximidad de las poblaciones con cascote ó escombros procedentes de derribos; pero en este caso los asientos pueden ser mayores por los huecos que resultan y seria necesario tener la precaucion de partir los materiales reduciéndolos al tamaño menor posible, y rellenar con

Digitized by Google

tierra los huecos. En el mismo caso se está cuando se construyen *pedraplenes* ó sean terraplenes empleando piedra en vez de tierra.

Rampas.

Para subir las tierras á las capas superiores de un terraplen cuando se va elevando este y se toma la tierra de los costados, es necesario formar rampas cuyo ancho se hace generalmente de 1,5 metros, introduciendo la mitad de esta anchura en el macizo que ha de quedar del escarpe, con el objeto de que al concluir este compense la parte escedente de tierras el corte que se abrió en dicho escarpe.

Inclinacion de los escarpes y revestimientos.

La inclinacion que se da á los escarpes de los terraplenes varia segun la naturaleza de las tierras que se emplean. Generalmente en tierras vegetales convendrá hacer siembras, pudiendo adoptarse así inclinaciones de 1,5 de base.

Debe compararse en cada caso la inclinacion mas conveniente, bien sea con la tierra sola ó con revestimientos, y ver cuál es lo mas económico. Hay que tener presente tambien que, adoptando escarpes muy fuertes revestidos, podrian resultar asientos y deformaciones dislocándose el revestimiento. Las tierras mas fuertes son las que permiten escarpes mas inclinados; pero tambien son las que esperimentan asientos mayores.

No seria prudente el revestir escarpes cuya inclinacion fuese mayor de 45° en tierras cuyo talud natural sea mayor que este. En el caso de verificarlo, habrá que esperar que el terraplen haga el asiento conveniente.

Refinado de los escarpes.

Los escarpes de los terraplenes no deben refinarse hasta que estén completamente concluidas todas sus demas partes, pues de lo contrario habrá que volver á ejecutar la operacion con el aumento consiguiente de gasto. El refinado se ejecuta de un modo análogo al que se indicó para los taludes de los desmontes, es decir, formando maestras por medio de reglones, baibeles y cuerdas. Para igualar y macizar se emplean pisones como el representa-

Digitized by Google

do (Fig. 62), cuya parte plana es de madera dura ó de hierro.

Cerchones para guiar la construccion.

Con el objeto de no echar mayor ó menor cantidad de tierras que la necesaria, ó al menos verificarlo con mayor aproximacion, se colocan *cerchones* ó maestras á ciertas distancias. Se componen estas sencillamente de un liston vertical y otro inclinado con el escarpe que debe quedar, el cual se clava á la parte superior del primero, arriostrando ambos por medio de travesaños. Cuando no se trabaja mas que un trozo, puede este cerchon irse corriendo á medida que avanza el terraplen. Para colocarle se toma la distancia correspondiente desde el eje del camino.

Costo de los terraplenes.

Segun la altura del terraplen, así es mas ó menos costosa su construccion, del mismo modo que cuanto mayor sea la distancia de que hayan de traerse las tierras.

Tomando como precio del jornal de un peon 5 rs.; de 20 el de una recua de cinco caballerías menores ó de un carro; y suponiendo tomadas las tierras hasta unos 55 metros al costado, siendo la altura del terraplen de 3 á 4 metros, viene á salir, segun nuestras observaciones (hecho por capas delgadas con mucho esmero y bien refinado), á 3,5 rs. metro cúbico.

El refinado suele ser objeto de ajustes separados y á veces tambien se hace á jornal; hemos observado que un operario ó *arreglador* puede dejar perfectamente concluidos en un dia de 10 horas de trabajo, 20 á 24 metros cuadrados, empleando la azada y pison. Este trabajo debe entenderse estando ya hecho el desvaste principal.

Observaciones sobre las herramientas.

Terminaremos esta seccion haciendo algunas observaciones relativamente á las herramientas.

El zapapico para poderse manejar con facilidad, debe pesar á lo mas unos 2,5 á 3 kilógramos, sus estremos deben estar acerados, y su mango tener 0,5 metros próximamente de longitud. La azada debe de ser de hierro forjado, y tener el corte acerado, pues sirve

Digitized by Google

tambien para desmontar tierras flojas; su peso generalmente es de 2 á 3 kilógramos.

La pala de hierro puede ser de mango recto, ó con vuelta, modelo inglés; estas son las mejores por la mayor comodidad que presenta su manejo, no teniendo que bajar tanto el cuerpo el operario. La pala inglesa tiene generalmente la forma cóncava, lo cual es muy conveniente, en particular para el desmonte de terrenos fangosos.

Las palas comunes que suelen encontrarse en el comercio son generalmente de palastro y duran poco. El grueso de estas debe ser unos tres milímetros para que tenga la suficiente resistencia.

TERCERA SECCION.

TRASPORTE DE LAS TIERRAS.

Diversos modos de trasportar las tierras.

El conocimiento del tiempo necesario para trasportar el volúmen de tierras estraido de los desmontes á los terraplenes ó puntos de depósito, es un dato esencial para poder formar los presupuestos de una carretera; y en la ejecucion de las obras es indispensable, si han de disponerse las cuadrillas del modo conveniente, para que no haya pérdida de tiempo en las operaciones.

Los trasportes pueden verificarse de varios modos: en carretillas conducidas por operarios, en carretones ó *volquetes* conducidos por los mismos, en carros, en recuas, y solo por operarios en espuertas. La conduccion en wagones no es un medio comun de verificarlo en obras de carreteras, sin embargo haremos algunas indicaciones sobre este medio de trasporte, despues de haber descrito los demas. Empezaremos por la conduccion en carretillas.

Conduccion en carretillas.

La distancia que puede andar un carretillero desde el sitio donde carga hasta el de descarga ó *parada*, para que no haya pérdida de tiempo en las operaciones, es mayor ó menor segun que al lle-

Digitized by Google

gar al punto de carga tenga que esperar ó no á que carguen la carretilla. Deben considerarse separadamente las operaciones de carga, y de conduccion, pues deben ser operarios distintos los que las ejecuten.

Cálculo de la carga.

Se puede tomar el número de 15 á 20 metros cúbicos como el que próximamente puede cargar un operario en las carretillas en 10 horas de trabajo.

La capacidad de las carretillas es de 0,03 á 0,04 metros cúbicos; suponiendo que sea 0,04, se quiere calcular con los datos anteriores el tiempo que se tardará en cargar una carretilla; este será, tomando 15 metros cúbicos para la carga por jornal,

$$\frac{10\times 0{,}04}{15}=0{,}027 \text{ de hora.}$$

Longitud de las paradas.

Sabiendo por la observacion lo que al paso regular puede andar un operario que conduce una carretilla en 10 horas de trabajo, y el tiempo que se tarda en cargar esta, se podrá deducir la distancia de las paradas para que no haya pérdida de tiempo. Estas paradas son los puntos de descarga, ó los de relevo en que haya carretillas ya vaciadas y devueltas, para que las recojan los carretilleros que conducen las llenas.

Siendo 30000 metros la distancia que puede andar un carretillero en 10 horas, contando con los descansos necesarios, en terreno próximamente horizontal, y suponiendo, como se dijo antes, que en el mismo tiempo se cargan 15 metros cúbicos, y que cada carretilla contiene la fraccion $\frac{1}{a}$ de metro cúbico, se tendrá

$$\frac{30000}{15}\ \frac{1}{a}$$

para la distancia que recorrerá el carretillero de ida y de vuelta al

UNIVERSIDAD CENTRAL BIBLIOTECA DERECHO
Digitized by Google

punto de descarga ó parada; y por consiguiente la longitud de cada parada,

$$d=\frac{30000}{2\times 15}\,\frac{1}{a}=\frac{1000}{a}.$$

Siendo 0,04 metros cúbicos la capacidad de la carretilla, resultan 40 metros para la distancia que debe haber al punto de descarga ó relevo, para que no haya pérdida de tiempo; es decir, que el carretillero encuentre cargada la carretilla que ha de conducir, y y suelte la vacia; esto suponiendo que hay un cargador por cada carretillero.

Si el punto de descarga estuviese á mas de 40 metros de aquel en que se carga, se establecen relevos dividiendo el camino de 40 en 40 metros; pero en este caso puede convenir el emplear para los trasportes recuas ó carros.

Costo de carga y trasporte.

Si se representa por D la distancia de descarga, por P el costo de trasporte del metro cúbico por unidad de distancia, PD será el costo del trasporte del volúmen que se considera; y su valor total comprendiendo carga y trasporte, será

$$x=\frac{P}{15}\left(\frac{D}{40}+1\right)$$

Para no tener que perder tiempo si no se llegase exactamente con la carretilla vacía cuando se ha llenado otra, se tienen dos ó tres cargadas.

En cada caso pueden hacerse esperimentos relativos al tiempo de carga, y demas datos necesarios; sin embargo, pueden tomarse los anteriores resultados como bastante aproximados en la práctica. Las cantidades tomadas para la carga se entienden en el concepto de ser tierras comunes las que se trasportan. Cuando sean tierras fangosas solo se toma próximamente 6 metros cúbicos para el trabajo efectuado en el mismo tiempo, y 8 á 9 metros cúbicos cuando sea piedra.

Digitized by Google

Los carretones tienen dos ruedas y se conducen por dos ó tres operarios, siendo la forma aproximadamente como la de los carros de varas, y su capacidad de 0,2 metros cúbicos.

Tambien es necesario cuando se emplean estos vehículos el calcular las paradas de modo que el tiempo que se emple en llegar á ellas y volver sea el mismo que se emplee en la carga.

Carga y conduccion en volquetes

El tiempo empleado en cargar un volquete de 0,2 metros cúbicos de cabida en 10 horas por dos operarios, siendo 15 metros lo que carga uno, estará espresado por

$$\frac{10\times0,2}{30}=0,067.$$

La distancia d será dada por la espresion

$$d=\frac{30000}{2\times30}\ \frac{1}{a},$$

siendo como antes $\frac{1}{a}$ la capacidad del carreton ó 0,2 metros cúbicos. En este caso se obtienen 100 metros para la distancia de la parada ó descarga, la cual se reduce á 85 ó 90 metros próximamente en razon al tiempo que se emplea en descargar.

Siendo 100 metros la distancia calculada para las paradas empleando volquetes, y suponiendo que para vaciarlos se necesita casi el mismo tiempo que para recorrer 30 metros, si hay varios relevos, el último se disminuirá de la mitad de dicha cantidad, y resultará de 85 metros solamente. De este modo una distancia cualquiera D se convertirá en el número de relevos

$$\frac{D-85}{100}+1.$$

Ocupándose el mismo tiempo en andar los relevos que el que tardan en llenar un volquete los cargadores, que se supone son dos,

Digitized by Google

costarán estos al dia $2P$. Cada relevo está servido por tres operarios cuyo costo será al dia $3P$, por lo que el trasporte á una distancia D costará

$$3P\left(\frac{D-85}{100}+1\right).$$

Los carretilleros trasportan en un dia el volúmen de tierras que resulta del trabajo de dos cargadores ó sean 30 metros cúbicos; por lo cual el trasporte de cada metro cúbico equivaldrá á $\frac{1}{30}$ del gasto diario relativo, ó

$$\frac{3P}{30}\left(\frac{D-85}{100}+1\right).$$

y el precio x de la carga y trasporte de un metro cúbico á la distancia D, estará dado por la espresion

$$x=\frac{2P}{30}+\frac{3P}{30}\left(\frac{D-85}{100}+1\right)=P(0{,}001D+0{,}0082)$$

Dadas las distancias á los puntos de descarga, para decidir el sistema de trasporte mas conveniente, se igualarán los valores respectivos de x en cada caso y se deducirá el valor de D sustituyéndole en la espresion correspondiente.

Trasporte de tierras por pendientes con carretillas ó carretones.

Cuando hay que establecer rampas para subir las tierras, bien sea empleando como vehículo la carretilla ó bien el carreton conducidos por hombres, se considera generalmente el 8 por 100 como el límite del cual no debe esceder la pendiente, para que no se esperimente gran fatiga, y al mismo tiempo debe procurarse que no sea menor la inclinacion para evitar un gran desarrollo de camino.

Generalmente se refieren los trasportes efectuados por una pendiente al camino horizontal equivalente, con el objeto de señalar la unidad de precio que corresponde, pero no escediendo de 0,925 la pendiente, se considera como camino horizontal.

Digitized by Google

Pueden suponerse tres casos: primero, aquel en que se ha tomado la pendiente límite del 8 por 100; segundo, cuando la inclinacion es mayor, y tercero cuando es menor.

Segun esperimentos verificados se está de acuerdo en considerar el trasporte de un volúmen dado en carretillas ó volquetes en una pendiente del 8 por 100 á una distancia de 20 metros, como equivalente al trasporte en las mismas circunstancias á 30 metros en camino horizontal.

Llamando L la distancia horizontal (Fig. 64) y a la altura que es próximamente $\frac{1}{12}$ de dicha distancia y corresponde á la inclinacion de 8 por 100, se tendrá $L=12a$, y llamando r la longitud ó subida total, $r=\frac{30}{20}L$, ó $\frac{3}{2}L=18a$.

Cuando a sea mayor de $\frac{1}{12}L$, se desarrollan varias rampas de esta inclinacion, y el camino horizontal equivalente es tambien $18a$.

Si a es menor que $\frac{1}{12}L$, se puede dividir en dos partes (Fig. 65) de las cuales la una m sea de $\frac{1}{12}$ de inclinacion equivalente á $18a$ como anteriormente. En este caso $l'=12a$; por lo que $m=l'+6a$ y la longitud ó subida total r será

$$l+l'+6a=L+6h.$$

Por lo que antecede puede verse que á veces será económico llevar las tierras mas lejos, que subir una fuerte pendiente.

Algunos datos relativos á la mano de obra para el trasporte en

Digitized by Google

carretillas dan una relacion algo mayor; es decir, que el peso que puede conducir un operario por la pendiente $\frac{1}{12}$ con respecto al que puede conducir en camino horizontal, está en la proporcion de 30 á 15 en vez de 30 á 20; pero esta última es la que se toma generalmente.

Contador para carretillas.

Con el objeto de saber el número de carretillas que los obreros conducen llenas al descargadero, hay un aparato ideado por Messemer de Fraffenstaden, el cual se coloca en el camino que ha de seguir cargada la carretilla y da á conocer el número que pasa de estas en un tiempo dado.

El aparato está compuesto de una plataforma y una columna. Debajo de la primera hay un juego de palancas que trasmite el movimiento á un cuadrante colocado en la parte superior de la columna en el que se marca los pasos de la carretilla en la plataforma.

Puede verse la descripcion detallada de este aparato en el *Genie industriel* de marzo de 1854.

Trasporte en carros.

Los carros que se emplean para el trasporte de tierras pueden estar tirados por una ó varias caballerías; los construidos espresamente para una sola caballería contienen sobre $\frac{2}{3}$ de metro cúbico, y $\frac{3}{4}$ los tirados por dos.

El empleo de carros es conveniente cuando hay que conducir las tierras á mayores distancias que las indicadas para las carretillas.

Ademas del tiempo empleado en cargar el carro, hay que contar el de descarga y enganche de las caballerías y su desenganche para volcar las tierras.

Digitized by Google

Cálculo del tiempo de trasporte.

Se admite que un peon en 10 horas de trabajo puede cargar 12 metros cúbicos de tierra en un carro. Siendo C la capacidad del carro en metros cúbicos, el tiempo que tardarán N cargadores incluso el carretero, en llenarle, será

$$\frac{10\ C}{N}.$$

Se admite igualmente como término medio de lo que anda un carro por hora cuando trasporta tierras en las obras, contando las pérdidas de tiempo y suponiendo el terreno horizontal, 2800 metros cuando va cargado y 3800 de vacío. La distancia D se andará en el tiempo

$$\left(\frac{1}{2800}+\frac{1}{3800}\right) D=0{,}00062\ D$$

y tardándose próximamente 0,033 horas en descargar, levantar el carro y enganchar, el tiempo total será

$$\frac{10\ C}{12\ N}+0{,}000\ 62\ D+0{,}033.$$

En el trasporte de un metro cúbico se tardará

$$T=\frac{\frac{10\ C}{12\ N}+0{,}00062\,D+0{,}033}{C} \quad (1)$$

En 10 horas de trabajo se trasportará

$$\frac{10}{T}.$$

Digitized by Google

Cálculo del precio de trasporte

El precio de trasporte del número de metros cúbicos indicado, representando por P el jornal de un cargador y P' el del carro y caballerías, será

$$NP+P'$$

y el de un metro cúbico

$$\frac{(NP+P')\ T}{10}$$

en cuya espresion se pone el valor de T de la (1), y se tiene el precio de trasporte de un metro cúbico que será

$$X=\frac{NP+P'}{10\ C}\left(\frac{10\ C}{12\ N}+0{,}000\ 62\ D+0{,}033\right) \quad (2)$$

Dando diferentes valores á las cantidades que entran en la ecuacion (2) se deduce para el costo valores menores, ó lo que es lo mismo economía en este, cuando el número de cargadores es tres, incluso el carretero, y cuando la distancia de descarga ó relevo no pasa de 150 metros. Escediendo de esta distancia hasta 500 se deduce que debe haber dos cargadores, y pasada esta uno solo, el cual para la mayor economía deberá ser el mismo carretero.

Es económico que tengan gran capacidad los carros no escediendo de ciertos límites, pues con poco esceso de fatiga del motor, se obtiene mayor cantidad de trabajo.

Se ha supuesto el caso de haber un solo carro para el trasporte, pero es necesario para no perder tiempo que haya otros de repuesto, que se carguen durante el viaje del primero.

No debiendo esceder de tres el número de cargadores incluso el carretero, pues se estorbarian en las maniobras, se calcula la relacion que debe haber entre las distancias á los puntos de descarga y el número de carros de repuesto que deben disponerse.

Habiendo encontrado anteriormente las espresiones relativas al tiempo que se tardará en andar la distancia al punto de descarga,

Digitized by Google

y el empleado en las demas operaciones accesorias con N operarios, se puede establecer la relacion

$$m\frac{10C}{12N}=0{,}00062D+0{,}033$$

siendo m el número de carros.

A la distancia D pueden cargarse $m+1$ carros sin interrupcion por $N-1$ cargadores, contando con el carretero y ayudados sucesivamente de $m+1$ carreteros. Así suponiendo un carro de una caballería con la carga de 0,5 metros cúbicos y tres cargadores incluso el carretero, para ver cual será la distancia de parada ó descarga correspondiente al empleo de dos carros, uno en marcha y otro á la carga, se hará: $N=3$, $m=1$, $c=0{,}5$ y se obtiene $D=170$ metros. Si $m=2$, $D=398$ metros: si $m=3$, $D=619$, etc., lo cual indica que debe haber tres cargadores, cuando la distancia de parada ó descarga es de 170; para 395 metros, tienen que ser dos, de los cuales uno está en marcha y otro cargándose; si aquella es de 395 á 619 metros, tres carros, etc.

Para hallar el precio de trasporte de los casos anteriores, en vez de la espresion $NP+P'$ indicada para el caso de un solo carro, se deberá obtener la relativa á $m+1$ carros y $N+m$ operarios que es

$$(N+m)P+(m+1)P'$$

correspondiente á la carga y trasporte de $(m+1)\frac{10}{T}$ metros cúbicos.

El precio x del trasporte de un metro cúbico poniendo por T su valor será:

$$x=\frac{(N+m)\,P+(m+1)\,P'}{10\,(m+1)}\left(\frac{10C}{12N}+000062D+0{,}033\right).$$

El número de caballerías que tiran del carro, está comprendido en el precio P' y la carga C.

Digitized by Google

Cuando solo tira una caballería, hay la ventaja de que se puede enganchar y desenganchar mas pronto y que proporcionalmente se arrastra mas carga que con mayor número.

Trasporte en carros por fuertes pendientes.

Cuando se emplean los carros para la conduccion de tierras, hay que procurar que las pendientes sean mucho mas suaves que cuando se verifica en carretillas, volquetes ó recuas. El límite superior de 5 á 6 por 100 es el admitido; considerándose 100 metros de longitud recorrida con esta pendiente, como equivalentes á 150 metros en camino horizontal.

Por métodos análogos á los espuestos al tratar del trasporte en carretillas y volquetes, se puede calcular la equivalencia de trabajo segun la pendiente, teniendo presente los resultados esperimentales relativos al trabajo de las caballerías.

Resultados de esperiencias.

Un caballo fuerte haciendo viajes de ida y vuelta, tirando de un carro, volviendo de vacío, puede efectuar el trabajo siguiente en diez horas.

En camino horizontal afirmado, anda término medio 36000 metros marchando á paso regular con 1500 kilógramos de carga á la ida: siendo 0,04 de la carga, la relacion del esfuerzo que tiene hacer en este caso, resulta para el efecto útil 24000000 kilógramos trasportados á un metro.

En terreno sólido pero sin afirmar y desigual, anda 36000 metros con 1100 kilógramos, y siendo en este caso 0,059 la relacion del esfuerzo á la carga, el efecto útil será 18000000 kilógramos á un metro.

En terraplenes sin consolidar completamente ó terreno lodoso, anda 36000 metros con 700 kilógramos y siendo en este caso 0,1 la relacion del esfuerzo, el efecto útil es 12000000 kilógramos á un metro.

En el primer caso á igualdad de las demas circunstancias, pero con pendiente del 8 por 100, anda 32000 metros con 1200 kilógramos; la relacion del esfuerzo á la carga es 0,05 y el efecto útil

Digitized by Google

18000000 kilógramos á un metro. En el segundo caso y pendiente de 6 por 100 andando la misma distancia con 900 kilógramos de carga, la relacion del esfuerzo es 0,072 y el efecto útil 12000000 kilógramos. En el tercer caso con las mismas circunstancias, con 600 kilógramos de carga, siendo 0,15 la relacion del esfuerzo, el efecto útil es 8000000 kilógramos á un metro.

Segun nuestras observaciones resulta que un carro de dos mulas con la carga regular de cincuenta espuertas de arena arcillosa, cuyo volúmen total era próximamente de 0,8 metros cúbicos y su peso 1000 kilógramos, hacia en 10 horas (contando el tiempo de carga y descarga) 50 viajes completos, es decir, contando ida y vuelta, á la distancia de 200 metros. El terreno por el cual marchaba no llegaba á la pendiente de 5 por 100, el piso era desigual como resulta al hacerse una escavacion y marchaba tambien sobre terraplen á medida que avanzaba este.

En las mismas circunstancias que en el ejemplo anterior, es decir, en el desmonte y terraplen espresado, pero con la diferencia de que las tierras escavadas se conducian á la distancia de 250 á 290 metros, solo hacia 40 ó 44 viajes.

Cuando la pendiente era del 7 al 8 por 100 en circunstancias análogas á los casos anteriores, verificaba 34 viajes con un metro cúbico de la misma clase de arena, y á la distancia de 300 metros. Hay que advertir que el ganado de tiro era de mulas fuertes de labor.

Para cargar un carro en los casos anteriores, se tardaba próximamente cuatro minutos. El número de cargadores conveniente para que no hubiese pérdidas de tiempo, era el de diez para seis carros.

Entre los resultados anteriores y los que indican algunos autores franceses no suele haber conformidad. Seria muy conveniente que los ingenieros diesen publicidad á sus observaciones para utilidad comun, pues las circunstancias son muy variables segun el terreno, el ganado que se emplea, etc.

Digitized by Google

Recuas.

Muchas veces se emplean en el trasporte de tierras las recuas de caballerías menores ó mayores, bien sea para sustituir á los carros ó en combinacion con ellos.

El empleo de recuas ofrece ciertas ventajas, particularmente las que se componen de caballerías menores, por la mayor facilidad que tienen en las obras para transitar por los desmontes y terraplenes, subir por escarpes y vencer los obstáculos que no sería fácil con los carros.

Segun hemos observado en varias obras, una recua de ocho caballerías menores, cuyo número no debe ser mayor para que pueda conducirla bien el arriero, llevando las tierras hasta 180 metros de distancia, en 10 horas de trabajo, conducia 30 metros cúbicos de tierra comun. Cada seron contenia seis espuertas regulares. Para cada tres recuas habia necesidad de once cargadores y de este modo no se perdia tiempo, siendo ocho, como se ha dicho antes, el número de caballerías de cada recua.

Creemos que la distancia indicada anteriormente, es un límite del cual no conviene escederse mucho cuando se emplee este medio de trasporte, si se ha de sacar de él el partido conveniente.

El esporteo ó conduccion de tierras en espuertas ó capachos empleando como motores para este efecto hombres, chicos ó mujeres, solo es admisible para cortas distancias, ó para trasporte vertical como veremos al tratar de este. Segun hemos tenido ocasion de observar para las distancias á que se ha dicho que conviene emplear las carretillas, solo se hacia con el esporteo un trabajo útil que era próximamente la cuarta parte del que se obtenia con aquellas.

Para el trasporte vertical por medio del esporteo, es decir, cuando las tierras se echan sobre los costados del desmonte, se practican en el talud escalones de 1,6 metros de altura y en ellos se colocan los operarios para que sin interrupcion se eleven las tierras á la parte superior. Esto se consigue pasando de unos en otros las espuertas que se conducen desde el punto de estraccion hasta el primer escalon.

Digitized by Google

Detalles sobre la construccion de carretillas.

La fig. 63 representa una carretilla de modelo inglés, que son las que mejores resultados dan para la conduccion de tierras.

Se ha dicho ya que la capacidad de la caja es 0,03 á 0,04 de metro cúbico, para que un operario pueda manejarla con facilidad.

Las paredes inclinadas y de poca altura son convenientes para facilitar la carga y descarga, así el centro de gravedad está suficientemente bajo y es mas fácil la conduccion que cuando tienen paredes altas y poco inclinadas.

Las ruedas pueden ser de madera ó de hierro; las primeras tienen que hacerse de llanta mas ancha y oponen mas resistencia á la conduccion, pero son mas fáciles de reponer en las obras.

Las de hierro se hacen generalmente fundidas, por ser mas baratas que las de hierro forjado, pero se rompen con facilidad si tropiezan con un obstáculo, lo cual es fácil que se verifique en las obras; la llanta puede ser en este caso mas estrecha que en las de madera; generalmente es de 0,025 y su forma algo convexa.

Trasporte de tierras en wagones y por carriles de hierro.

No es muy frecuente el que en las obras de carreteras se empleen wagones para la conduccion sobre carriles de hierro, pues los movimientos de tierras no son de tanta consideracion generalmente como en los caminos de hierro; sin embargo, á veces tiene lugar el empleo de pequeños wagones tirados por caballerías disponiendo carriles de hierro provisionales y baratos á propósito para el objeto. Se dará idea de este medio de trasporte por si acaso fuera conveniente adoptarle alguna vez, empezando por describir la disposicion que se dá á los cortes ó tajos y el modo de verificar los trasportes, y dando por fin una ligera descripcion de los wagones y de la via.

Las circunstancias variables á que está sujeto este sistema, hacen que sea difícil el obtener una fórmula general por la cual pueda deducirse, como se ha verificado en los sistemas descritos anteriormente, los precios de trasporte; en este sistema suele apreciarse solamente los de traccion y los fijos.

Digitized by Google

Disposicion de los cortes

En los desmontes en que se emplean wagones para el trasporte de las tierras, se empieza generalmente con carretillas, hasta que el desmonte y terraplen tiene una longitud de unos 100 metros y entonces se procede á colocar las barras carriles. Se abre despues un corte de 6 metros de ancho para que puedan colocarse dos wagones de frente, y cuando se llega á la parte de mas elevacion del desmonte, pueden ya colocarse mas operarios escalonando los cortes y adelantándose mas los trabajos de este modo. Las tierras que se escavan en la parte inferior del desmonte, se cargan directamente en los wagones de frente; las tierras de los cortes superiores se cargan en carretillas con las cuales se trasportan por el costado á vaciar en el segundo wagon.

Segun la clase de terreno y el grado de actividad que se exija, así se establece mayor ó menor número de escalones y operarios, y para poder cargar gran cantidad de tierras se establecen banquetas en los taludes, en las que se colocan carriles, y por ellos se conducen las carretillas que van á llenar los wagones colocados en la via del medio del desmonte.

Cargados los wagones, se llevan con las caballerías hasta unos 150 metros antes de llegar á la cresta del terraplen, y en aquel punto están colocados en apartaderos los wagones vacíos; á estos últimos se enganchan las caballerías que se quitan de los cargados y se conducen los primeros al punto en que se han de llenar.

En el apartadero citado antes, se ramifica la via principal en otras dos ó tres hasta el estremo del terraplen. En el wagon cargado se engancha una caballería á la que se hace marchar velozmente, y al llegar á cierta distancia del estremo del terraplen, se desengancha instantáneamente por una disposicion particular; el conductor tira entonces de la cuerda que sirve para hacer salir de la via á la caballería, y el wagon con la velocidad adquirida, llega hasta unos 2 metros del borde del terraplen. Los carriles están colocados hasta el punto en donde para el wagon, y en dicho sitio hay unos topes formados con traviesas colocadas transversalmente con el objeto indicado.

Digitized by Google

El vaciado del wagon se verifica por un operario, el cual abre la trampilla del frente, descargándole por esta parte y despues de verificado, se engancha la caballería conduciéndose el wagon á la via principal. Del mismo modo se procede para los demas wagones, y segun la importancia ó circunstancias de la obra, se pueden colocar de frente mayor número de aquellos que los indicados.

En Francia ha solido emplearse un sistema particular para vaciar los wagones, el cual consiste en colocar las vias sobre vigas armadas. Estas se apoyan por un estremo sobre la parte del terraplen concluido y por el otro en caballetes, cuyos estremos inferiores tienen ruedecillas para que puedan correr por carriles colocados al efecto sobre el terreno natural. De este modo puede irse avanzando la via á medida que adelanta el terraplen.

En terreno quebrado no puede emplearse este sistema y cuando el terraplen es muy alto, tambien ofrece dificultades de consideracion el construir y trasportar los caballetes.

Cuando se emplean wagones para el trasporte de tierras, el coste de este depende, aun mas que empleando los otros sistemas, de la distribucion conveniente de los tajos ó cortes, y de la velocidad con que se obtenga la estraccion de las tierras. Cuando quiere aumentarse dicha velocidad hay que tener caballerías de relevo, y cuando sea muy considerable la que se desee obtener en los grandes cortes, se verifica la traccion por medio de locomotoras. En este último caso se aumenta tambien el gasto de establecimiento, en razon á que los carriles tienen que ser mas fuertes y por consiguiente mayor su peso.

La rapidez en la ejecucion depende de la que haya en las escavaciones, carga, conduccion y descarga. Lo primero depende de la calidad de tierras y estension que pueda darse á los cortes para la buena colocacion de las cuadrillas; lo segundo del número de cargadores que pueden emplearse, estando admitido que para que no haya aglomeracion de operarios ni esposicion en cada corte, solo deben colocarse, cuando mas, los operarios y vehículos necesarios

Digitized by Google

para cargar 200 metros cúbicos en diez horas; á este dato deberán subordinarse los trabajos.

El número de las cuadrillas depende tambien de la altura del desmonte, inclinacion del talud y disposicion del terreno. Cuando la altura del desmonte es solo de 4 á 6 metros, solo puede hacerse un corte ó establecer una cuadrilla; de 8 á 9 metros de altura, puede haber dos cuadrillas escalonadas, dando salida á las tierras del segundo piso por las banquetas de los costados, que se indicaron antes; cuando la altura es de 13 á 14 metros puede haber tres cuadrillas escalonadas.

Descripcion de los wagones.

Un wagon consta de la caja, bastidor y dos juegos de ruedas y puede girar generalmente alrededor de un eje bien sea de frente ó de costado; su altura total sobre los carriles no debe esceder de $1^{m}65$ para poder cargar fácilmente. Los construidos para tiro de caballerías son mas ligeros que los destinados para verificarlo por locomotoras. La caja tiene la forma indicada para la de las carretillas inglesas; la trampa ó compuerta que sirve para descargar, tiene gozones y cerrojo; las ruedas tienen reborde interior.

Carriles movibles.

Los wagones pueden hacerse tambien de pequeñas dimensiones para ser conducidos por operarios, lo cual suele ser muy conveniente en las obras de alguna consideracion. Es necesario en este caso tratar de establecer carriles económicos, por lo que detallaremos un sistema empleado con muy buen éxito en las obras de conduccion de aguas á Madrid, el cual le creemos de escelente aplicacion. Estractaremos la descripcion que se hace de este sistema en la *Revista de Obras públicas* de 1854 número 8.°

Estos carriles tienen la ventaja de poderse variar de sitio con facilidad y de colocarse sin necesidad de esplanar ni poner balastaje.

La colocacion se hace sobre largueros, como se indica en la figura 66, en donde se ve la forma y disposicion de las barras. Estas son llantas planas de hierro de las de uso comun del comercio, de

Digitized by Google

3,36 metros de longitud, 0,045 metros de alto y 0,012 de grueso; su peso es de 4 kilógramos por metro lineal.

Los tornillos tienen 0,014 metros de grueso y 0,25 metros de longitud; la parte superior está doblada en forma de escarpia, para entrar en el taladro de la llanta en donde se remacha para que no estorbe el paso del reborde de la rueda.

La seccion de los largueros varia segun sea mayor ó menor el número de puntos de apoyo que pueda tener. En toda su longitud hay abierta una ranura del grueso de la llanta, quedando así embutida esta un tercio de su altura y perfectamente asegurada con los dos tornillos situados á medio metro de los estremos.

Para arriostrar las dos líneas de largueros, se colocan barras de hierro atornilladas á estos, y de este modo se forman bastidores que pueden trasportarse, colocándose á continuacion unos de otros á medida que avanzan las obras. El costo por metro lineal, empleando largueros de 0,176 metros por 0,225 metros de escuadría, fué en las obras referidas de 44 rs.; en algunos sitios en donde no era necesario trasladar los carriles á otro punto, se colocaban sobre traviesas sujetos con cuñas y entonces era solo de 27 rs. el costo del metro lineal de via.

Cuando para tirar ó conducir los wagones se emplean solo los operarios, se da á aquellos una forma análoga á los volquetes descritos ya, poniendo á las ruedas llantas de reborde. Empleando este sistema puede conducirse mayor cantidad de tierras con menos esfuerzo. Debe calcularse en cada caso si la economía que se obtenga en mano de obra, compensará el esceso de gasto del material y establecimiento, y elegir de este modo con acierto.

Hay que tener presente que en la mayor parte de las obras de carreteras que se ejecutan en España, podrá haber dificultades en en adoptar este sistema, en razon á no ser fácil adquirir el material de la via y las ruedas de reborde ni atender á la reparacion de estas, teniendo por esta causa que adoptar los medios comunes de conduccion.

Digitized by Google

Limites admitidos para el empleo de los diversos medios de trasporte.

Se admiten los límites siguientes para el empleo de los diversos medios de trasporte descritos anteriormente.

Carretillas, hasta 100 metros de distancia.

Volquetes, 150 id.

Carros, 500 id.

Wagones con caballerías, 1500 á 2000 y el volúmen que hay que desmontar escede de 100000 metros cúbicos.

Locomotoras, de 2000 metros en adelante.

Para el cálculo de trasportes conviene saber el peso de los materiales, por lo que damos á continuacion una tabla que puede ser útil.

Peso de las tierras y rocas.

Datos tomados de obras estranjeras.

MATERIALES.	Peso del metro cúbico en kilógramos.
Tierra vegetal	1250
Id. fuerte y grava	1400 á 1500
Arcilla	1700
Marga	1600
Arena fina seca de rio	1400
Id. húmeda	1800
Id. arcillosa de mina	1750
Fango	1650
Turba seca	150
Id. húmeda	800
Id. terrosa	850
Grava y cantos	1400
Piedra caliza litográfica partida para firme	1350
Id. jurásica	1330
Id. compacta	2000
Grava	1610
Piedra molinar	1250
Id. mas compacta	2500
Areniscas	2000 á 2400

Digitized by Google

MATERIALES.	Peso del metro cúbico en kilógramos.
Granito.	2500
Squistos.	1800
Id. pizarrosos.	2200
Escorias volcánicas.	800
Id. de forjas.	850
Mármol de Llodio empleado en el puente de Bilbao.	2785
Piedra caliza de Colmenar.	2435
Id. de las Cabrillas.	2760
Arena de rio.	1668
Id. de mina.	1642
Tierra comun.	1400 á 1700
Arcilla.	1440

Datos tomados por algunos constructores en España.

Segun los esperimentos verificados en las obras del canal de conduccion de aguas á Madrid, resulta lo siguiente:

Pesos específicos de varios materiales.

Ladrillo bien cocido.	1,589
Arena.	1,570
Sillería caliza de Patones.	2,502
Id. de Redueña y Venturada.	2,207
Id. del Molar.	2,435
Id. de la Atalaya.	2,141
Id. de Aldehuela.	2,746

Medios mecánicos de subir las tierras.

Cuando los movimientos de tierras que hay que verificar son de consideracion, suelen emplearse medios mecánicos para el trasporte vertical de aquellas.

El desmonte se empieza estrayendo las tierras por los medios descritos, hasta que las rampas tengan 0,125 en el sentido perpendicular al eje del camino, y entonces se forman con la inclinacion

Digitized by Google

del talud del desmonte y de trecho en trecho planos inclinados. La fig. 67 indica la disposicion de estos planos, que es muy sencilla; consiste en colocar dos vias compuestas de fuertes maderos ó tablones *a a* puestos sobre el talud de 3 en 3 metros de distancia de eje á eje, prolongándose por medio de una andamiada *b b* hasta el nivel de los caballeros, que se han de formar con las tierras.

En el sitio que han de ocupar los caballeros se terminan las dos vias por un piso horizontal *b b*. En la prolongacion del eje de cada via se coloca á distancia de 3,5 metros del plano indicado un poste *fd* y á 3,5 metros de altura en este, una polea *e* de 0,35 metros de diámetro próximamente y cuyo eje esté en el sentido del de la carretera. A unos 0,4 metros de nivel del suelo hay otra polea *f* de las mismas dimensiones que la primera, pero dirigida su garganta paralelamente al eje del desmonte. Una cuerda ó cadena sale desde la parte inferior de una de las vias, sube sobre el plano inclinado y pasa por la polea superior del primer poste, y de aquí baja verticalmente para pasar por la polea inferior del mismo poste.

La polea *f* hace que se dirija la cuerda paralelamente al eje del desmonte á otro poste *e* próximo al primero; en este hay tambien una polea que dirige la cuerda verticalmente á otra polea superior, aquí se engarganta de nuevo, bajando y uniéndose al estremo superior del segundo plano inclinado. En esta parte el cabo de la cuerda se engancha á una carretilla vacía, que ha de bajar por la via *g*; al otro estremo de la cuerda se engancha una carretilla cargada *m* la cual sube por la via *a a*. Por medio de una caballería que va y viene de uno á otro poste se verifican las maniobras referidas.

Las carretillas que se emplean en estos casos son de mayor capacidad que las comunes; contienen sobre 0,09 metros cúbicos. Su enganche se verifica en los dos estremos con nudos, entre los cuales hay una tablilla para que la tierra no se vierta sobre el peon que conduce la carretilla. En cada plano hay un peon para enganchar y subir con la carretilla, la desengancha y pone otra vacía bajando detras de ella.

Digitized by Google

La disposicion indicada es de las mas sencillas que se han empleado en Inglaterra; hay otras en que se colocan carriles y plataformas giratorias, que no describimos porque serán de poca aplicacion en las obras de carreteras; sin embargo indicamos las obras que pueden consultarse, si fuese necesario, con el objeto de adquirir mas detalles.

Obras que pueden consultarse.

En la obra de Mr. Etzel, titulada *Essai sur le disposition des grandes chantiers de terrasement*, se hallan los detalles necesarios sobre el empleo de wagones en los desmontes y terraplenes, disposiciones de las vias de servicio, y su esplicacion con 25 láminas, en que se indican las disposiciones adoptadas en algunos caminos ejecutados en Francia é Inglaterra.

Tambien el manual del *terrassier*, de MM. Etienne y Masson, contiene bastantes detalles estractados en parte de la obra anterior.

En los *Anales de puentes y calzadas de* 1849 se inserta una memoria del ingeniero M. Thiolliere sobre el trasporte en wagones, en la cual se detallan las operaciones y el costo del material.

Distancia media de los trasportes.

La buena distribucion de los desmontes en los terraplenes es muy importante para la economía de los movimientos de tierras. Con objeto de conseguirlo, se calculan las distancias medias entre los volúmenes del desmonte y el del terraplen á que se han de trasportar las tierras del primero. El precio de los terraplenes es proporcional al volúmen de las tierras y distancia de donde se estraen.

Direcciones.

La conduccion de las distintas partes en que se considere dividido el desmonte al terraplen, puede hacerse ó en direcciones paralelas, que es el caso que tiene lugar generalmente en las carreteras, ó en direcciones que no sean paralelas.

El primer caso es el mas favorable, por dar las longitudes mas cortas, y la distancia media será la que hay entre los centros de

Digitized by Google

gravedad de los volúmenes del desmonte y terraplen. En el caso de no ser los trasportes paralelos, la distancia media es mayor que la que hay entre los centros de gravedad: cuando las direcciones se cruzan es el caso mas desfavorable.

Medios de hallar los centros de gravedad de los volúmenes.

Es difícil fijar el centro de gravedad del volúmen en los desmontes por las irregulares formas que afectan. Para conseguirlo aproximadamente se suponen terminados por figuras geométricas, como triángulos ó trapecios, que guardan la misma relacion de colocacion que estos volúmenes.

El método gráfico que se sigue para hallar los centros de gravedad y las distancias entre estos es el siguiente:

Se traza una horizontal, se divide en partes que sean iguales á las que hay entre los dos perfiles transversales del trozo en cuestion, y en los puntos de division se levantan perpendiculares proporcionales á las superficies que representan. Estas perpendiculares se dirigirán hácia la parte inferior ó superior de la horizontal, segun sea de desmonte ó terraplen; es decir que debe elegirse una ú otra direccion para cada clase; pero siempre conservándola igual para cada caso. Los estremos de estas perpendiculares se van uniendo por rectas resultando así figuras triangulares ó trapezoidales, cuyos centros de gravedad se buscan considerándolos situados en el mismo plano normal al eje, que el del sólido que representan dichas figuras. Hallados sus centros de gravedad, las distancias horizontales entre el relativo al desmonte y el correspondiente del terraplen, que ha de formase con aquel, es la distancia buscada.

Perfiles en desmonte y terraplen.

Cuando un perfil transversal contiene desmonte y terraplen, vienen á confundirse en parte algunas de las figuras que representan los volúmenes correspondientes de una y otra clase, y es necesario para mayor claridad desarrollar separadamente estas figuras. En este caso se forma en la parte del perfil que representa el desmonte ó terraplen de mayor dimension, el área equivalente á la mas pequeña. Si hay esceso, por ejemplo, en el desmonte, será este el

Digitized by Google

que ha de llevarse entre el perfil inmediato y línea de paso ó depositarse en caballeros. Si el esceso fuese de terraplen, habrá que traer tierra de otro lado. En estos casos las perpendiculares serán proporcionales á las diferencias de las superficies de desmonte y terraplen de cada perfil.

Simplificacion.

Para mayor sencillez suele suponerse el centro de gravedad de los trapecios que resultan, equidistante de sus lados paralelos. La distancia horizontal de dicho centro á uno de estos lados, se puede calcular exactamente; pero es un trabajo largo y penoso de poca utilidad en la práctica.

Deben hacerse en escala bastante grande las figuras, por ejemplo, de uno á 2 milímetros por metro, para poder medir gráficamente y con la suficiente exactitud las distancias con el compás.

Para calcular los volúmenes de desmonte y terraplen y las distancias de trasporte, puede seguirse un método sencillo, el cual consiste en representar los volúmenes referidos por rectángulos, cuyas alturas son proporcionales á las superficies del desmonte ó terraplen de cada perfil y su base la distancia entre perfiles.

Fórmula para hallar la distancia media de trasporte

Halladas las distancias parciales entre los centros de gravedad de cada uno de los volúmenes correspondientes de desmonte y terraplen, puede determinarse la distancia media del modo siguiente:

Sean V, V', V'' etc., los volúmenes parciales, d, d', d'' las distancias que recorren estos del desmonte al terraplen y D la distancia media general. El valor de esta última será

$$D=\frac{Vd+V'd'+V''d''+\text{etc.}}{V+V'+V''+\text{etc.}}$$

Puntos de que conviene llevar las tierras á los terraplenes segun las circunstancias.

El caso de haber compensacion exacta entre los desmontes ó terraplenes no se verifica comunmente; puede haber esceso de tierras en el desmonte, el cual se echa á los lados, ó por el contrario se tienen que tomar de préstamo para hacer los terraplenes, bien en su totalidad ó para completarlos.

Digitized by Google

En el primer caso las tierras de la superficie serán las que convendrá echar las primeras á los costados, hasta componer el volúmen sobrante; de este modo las tierras que se llevan al terraplen tendrán menos distancia vertical que andar, como igualmente las tierras sobrantes. En el caso de tener que emplear tierras de préstamo para completar el terraplen, la parte mas próxima al desmonte es la que se hace con las tierras estraidas de este.

Cuando hay un desmonte y dos terraplenes, uno á cada estremo del primero y hubiese volúmen sobrante de tierras, deberá dejarse la parte del centro para el escedente con el objeto de disminuir las distancias de los trasportes.

Tierras de préstamos: caminos que han de seguir.

Cuando las tierras se toman de fuera del camino para los terraplenes, ó segun hemos ya dicho, de *préstamos*, hay que hacer algunos tanteos para que las direcciones que sigan los trasportes no se crucen, empleando cada volúmen parcial de desmonte en la parte mas próxima del terraplen. Se han dado construcciones geométricas y cálculos que creemos poco útiles en la práctica; pues no solo la forma de los sólidos no es exactamente geométrica en la mayor parte de los casos, sino que las alturas son variables, resultando muy poca aproximacion y pérdida de tiempo inútil en los cálculos.

Comparacion de los sistemas de préstamos y de compensacion.

Cuando se toman las tierras para los terraplenes del costado del camino, pueden hacerse con mas rapidez, es menor el trasporte horizontal y es menos costoso el material de trasporte.

Los inconvenientes de este método son, exigir mayor terreno para las obras, con perjuicio de la agricultura, aumentar los gastos de indemnizaciones y producir un esceso doble en el movimiento de tierras en el caso que pudieran emplearse del desmonte abierto en un punto contiguo de la carretera: así es necesario, cuando haya que verificar desmontes y terraplenes, estudiar con cuidado el método mas conveniente, pues de no hacerlo resulta á veces escesivo aumento en el costo de la carretera.

Digitized by Google

CUARTA SECCION.

CONSOLIDACION DE DESMONTES Y TERRAPLENES.

Consideraciones generales.

Los accidentes que suelen ocurrir cuando se ejecutan los desmontes en ciertas clases de terrenos, hacen que sea necesario recurrir á medios artificiales de consolidacion, que á veces no son suficientes, y obligan á variar de terreno alterando el trazado de la carretera.

Del mismo modo las diferentes clases de tierras que se emplean en la construccion de terraplenes pueden dar lugar á tener que fortificar sus escarpes para evitar los desprendimientos de estas tierras que á veces comprometen la existencia del camino.

Nada creemos tan completo sobre el objeto que nos ocupa, como una memoria publicada en los *Anales de puentes y calzadas de Francia* de 1851, por el ingeniero Mr. Sazilly, titulada: *Noticia sobre las condiciones de equilibrio de los macizos de tierra, y revestimiento de taludes*, por lo que estractaremos la parte conveniente para nuestro objeto, sin perjuicio de dar alguna otra indicacion que juzguemos útil.

Tambien contiene esta memoria las fórmulas y tablas para determinar los taludes y la figura de equilibrio de macizos.

Medios de evitar las degradaciones superficiales de los taludes.

Cunetas de circunvalacion y caballeros.

Siendo las aguas la principal causa que produce las degradaciones de los taludes cuando los terrenos tienen poca cohesion, hay que impedir que corran por ellos las que vierten de los terrenos superiores, abriendo cunetas de circunvalacion en la parte superior del terreno, y á corta distancia del borde del talud. Estas cunetas

Digitized by Google

ó zanjas deben tener al menos 1 por 100 de pendiente longitudinal.

En los terrenos muy permeables, como sucede en los arenosos, las filtraciones de las aguas por el fondo y costados de las cunetas de circunvalacion, suelen hacer que estas sean mas perjudiciales que útiles, si no se toma la precaucion de revestirlas con arcilla ó emplear otro medio que las haga impermeables.

Cuando en la parte superior del desmonte se forman caballeros con las tierras sobrantes, si el terreno tiene pendiente transversal, se deben establecer cunetas entre aquellos y el borde del talud; la forma de los caballeros es conveniente que sea como indica la figura 68, para que la arista *a* divida las aguas. Tambien se hacen de seccion triangular de gran lado *bc* hácia el terreno (Fig. 69), pero esta disposicion ocupa mucho espacio y quizá solo podrá ser conveniente cuando no se abran cunetas de circunvalacion. Si las aguas de estas cunetas no pueden tener salida por la parte superior del terreno, se les da por canales abiertos en el talud, revistiéndolos de madera ú otra materia, y por ellos caen á las cunetas del camino.

En los taludes de mucha altura se escalonan las zanjas con el objeto de que las aguas no corran en cantidad escesiva por los taludes y de recoger las tierras desprendidas, dándolas una pendiente transversal de 2 á 3 por 100 (Fig. 70); se desaguan por canales en el sentido del talud, que se practican de trecho en trecho y es conveniente que estos canales correspondan á los puntos de desagüe de las cunetas de circunvalacion. En vez de dar á estas cunetas una gran anchura, vale mas multiplicar los escalones, haciéndolos cada 3 ó 4 metros de altura y de un ancho de un metro próximamente. Conviene tambien que permanezcan desembrozadas y con la pendiente bien conservada, para lo cual podrán revestirse de tepes, empedrados, etc.

Tambien esta disposicion de cunetas puede ser conveniente en los terraplenes fáciles de alterarse.

Digitized by Google

Siembras y plantaciones.

Cuando los taludes están practicados en terrenos que se alteran por el aire, como sucede en los de arena floja, es conveniente echar sobre ellos semillas de plantas viváceas adecuadas al clima, y aun á veces pueden echarse semillas de arbustos, á pesar de que estos tardan mas en crecer. La sanguinaria es una de las mejores plantas viváceas para este objeto, porque sus raices profundizan mucho y sus ramas se estienden por la superficie del talud. Las mielgas y alfalfas son tambien buena defensa para preservar los taludes de las heladas y lluvias, cuando el terreno es á propósito para su crecimiento; las gramas se emplean igualmente. Mezclando avena con los granos de las plantas viváceas, las protege de la accion del sol cuando empiezan á crecer.

En terrenos movedizos.

En terrenos muy movedizos y espuestos á la accion de los vientos y lluvias, será necesario proteger mas eficazmente el crecimiento de las plantas, por medio de ramajes que cubran el talud asegurados con estacas, alambres ó cuerdas. Los taludes en que hayan de hacerse plantaciones exigen ser mas tendidos que cuando no se emplea este medio, pues es necesario remover la tierra, y si no es vegetal, echar una capa de esta clase. Comunmente se echa la simiente en la superficie del talud algo removido, cubriéndola con una capa de 2 á 3 centímetros de tierra vegetal. En este caso ha de tener el talud al menos 1,2 á 1,25 de base por uno de altura, para que se sostenga la tierra, á no ser que se proteja con una cubierta como se dijo antes. En los terrenos muy movedizos, como en las arenas finas, ha producido buenos resultados el hacer la capa de tierra vegetal de un grueso de 8 á 10 centímetros y echar despues las semillas. Tambien este método puede emplearse para fortificar los escarpes de los terraplenes.

Modo de hacer las plantaciones

Cuando para la fortificacion de taludes se hacen plantaciones de árboles ó arbustos, el talud puede ser de menos base, pues no es necesario en este caso remover todo el terreno. Estas plantaciones crecen lentamente y solo convendrán para proteger los taludes que

Digitized by Google

se degraden con lentitud tambien, como sucede á los abiertos en terrenos margosos y de arena compacta. La clase de plantas que se emplean en este caso depende del clima. Las acacias crecen bien, generalmente, en toda clase de terrenos; los sauces y álamos, en los terrenos húmedos.

El hacer escavaciones seguidas en el talud para verificar el plantío, le debilita y espone á degradaciones, por lo que es mejor hacer hoyos normales al talud, esparcidos en distintos puntos, que no verticales. Despues de hecha la plantacion se maciza el hoyo y se refina la superficie del talud.

Tepes y céspedes.

Cuando no pueden defenderse del modo conveniente los taludes por medio de las siembras y plantaciones, bien sea por su naturaleza, orientacion ó inclinacion, y es necesario que se fortifiquen pronto, se hace por medio de *tepes* ó pellas de tierra, que contienen las plantas viváceas indicadas antes, ó césped. Para que se afianzen mejor, es conveniente colocarlos por hiladas, con sus lechos normales á la superficie del talud y no de plano sobre este, poniendo la cara del tepe en que está el césped ó planta, en el sentido de los lechos.

Haciendo el revestimiento por hiladas, pueden adoptarse taludes mas fuertes, pero será conveniente no hacerlos nunca de menos de medio de base por uno de altura, y aun convendria en los fuertes taludes hacer escalones espaciados de 1,5 metros, para distribuir la superficie en zonas independientes. Tienen tambien la ventaja de permitir que se empiece el revestimiento del talud desde su parte superior, á medida que este se va ejecutando (*).

(*) En unas notas del ingeniero Mr. Chaperon, insertas en los *Anales de puentes y calzadas de* 1853, dice este, que la colocacion de los tepes por hiladas normales al talud, podrá convenir cuando el objeto sea revestir taludes muy inclinados, pero en los escarpes de terraplenes de 1,5 de base, cuyo pie ha de preservarse de las aguas, ó sostener las arenas y en los cuales es difícil hacer siembras, los céspedes ó tepes colocados de plano producen buenos resultados verificándolo en la estacion conveniente que es de octubre á marzo, y si provienen los tepes de terrenos análogos al en que se colocan.

Digitized by Google

Revestimientos de mampostería.

Cuando la piedra puede obtenerse barata, los revestimientos de mampostería en seco son los mas convenientes por su solidez, en particular cuando los taludes ó escarpes están espuestos á la accion de los hielos, aguas corrientes ó choque de las olas. En estos casos pueden adoptarse tambien taludes mas fuertes; á pesar de que no conviene que sean de menos de un tercio de base por uno de altura, y aun en este caso seria buenos hacerlos escalonados de tres en tres metros de altura á lo mas. Para taludes mas fuertes todavía, podria adoptarse el revestimiento de mampostería con mortero.

A los revestimientos de piedra en seco, se les da generalmente un espesor creciente desde su parte superior ó coronacion hasta la base. En dicha parte superior el espesor tomado normalmente al talud, es de 0,^{m}3, aumentando sucesivamente 5 por 100, cuando la inclinacion es de uno y medio de base, y 10 por 100 cuando es de un tercio de base por uno de altura.

La base de estos revestimientos es necesario que sea sólida y no esté espuesta á socavaciones. Los mampuestos se colocan con su mayor dimension normal al talud y bien enlazados: cuando están espuestos á corrientes accidentales, se pueden fundar sobre una capa de grava ó ripio que sirva como de filtro, cuyo espesor sea de 10 á 15 centímetros. Tambien convendrá que se desarrolle entre las juntas la vejetacion de las plantas vivàceas, para que trave mas el revestido y se aumente su resistencia; este efecto se produce naturalmente cuando están los revestimientos espuestos á inundaciones, pero puede acelerarse el desarrollo echando sobre ellos alguna tierra vejetal, y tambien empleando para sentar los mampuestos, mortero de esta misma clase de tierra.

Al hablar de las inclinaciones de los taludes y escarpes, se indican las adoptadas en las diferentes clases de terrenos.

Digitized by Google

Causas de los desprendimientos en los terrenos arcillosos y acuosos, y medios de precaverlos ó repararlos.

Cuando hay que ejecutar desmontes en esta clase de terrenos, y no se puede conseguir la consolidacion ó es esta escesivamente costosa, se tiene necesidad de variar la direccion del trazado.

Propiedades caracteristicas de los terrenos arcillosos.

Los terrenos arcillosos absorben mas ó menos facilmente el agua verificándose lo primero, cuando se remueven y no están perfectamente contenidos por todos lados. Por la absorcion aumentan de volúmen y se contraen á medida que pierden la humedad, pasando al estado pulverulento cuando la sequedad es completa.

Cuando las arcillas están algo húmedas, tienen mucha fuerza de cohesion y elasticidad, perdiendo estas propiedades, si están muy empapadas ó, por el contrario, completamente secas, sucediendo lo mismo respecto de su resistencia al rozamiento. En cualquier estado que se encuentren, las arcillas son impermeables, lo cual produce el resbalamiento de las capas, propiedades que son todas al parecer debidas á la presencia de la alúmina que contienen.

Las circunstancias indicadas podrán modificarse segun sea la composicion de la arcilla y las materias estrañas que contenga, lo cual no puede averiguarse por la inspeccion del terreno en la mayor parte de los casos. Sucede algunas veces que exigen esta clase de terrenos hacer uso del pico para desmontarlos, y que solo al cabo de cierto tiempo de espuestos á la intemperie manifiestan las propiedades enunciadas.

Cuando se abren pozos para sondear el terreno, es necesario separar las tierras que se estraen de las distintas capas, colocarlas en montones separados y observar el efecto que en ellos producen las causas atmosféricas, sobre todo en el invierno.

Las masas arcillosas suelen tambien presentar planos de decli-

Digitized by Google

ve mas ó menos inclinados, en los cuales la fuerza de cohesion y resistencia de rozamiento son menores. Estos planos son principales ó secundarios; los primeros separan masas considerables y están dirigidos próximamente en el mismo sentido; los segundos se inclinan en todos sentidos y son numerosos: unos y otros tienen generalmente superficies lisas y jabonosas y á veces suele haber en las de junta una materia de aspecto vegetal y de un espesor, en algunos casos, de 3 á 4 milímetros.

Causas de los desprendimientos en los desmontes.

Los terrenos arcillosos en su estado natural conservan cierta humedad; al verificar en ellos los desmontes, queda espuesta la superficie á la accion del aire y hasta cierta profundidad cambian de volúmen, contrayéndose segun el estado higrométrico de la atmósfera. La contraccion debida á la sequedad, produce grietas por las cuales se introducen las aguas de lluvia y las nieves derretidas; estas aguas reblandecen la arcilla del interior y hacen que aumente de volúmen, produciendo desprendimientos de ciertas partes de la masa. No se verifican sin embargo generalmente de este modo los grandes desprendimientos, sino solo los desmoronamientos parciales.

Hay casi siempre sobrepuesto al terreno arcilloso otro permeable, y filtrándose las aguas por este forman sobre la arcilla una capa de agua mayor ó menor, segun sea la abundancia de lluvias ó nieves, la estacion, naturaleza del terreno, estension de la cogida de aguas etc.

Generalmente esta capa de agua corre lentamente al fondo del valle y á veces solo existe periódicamente. Si en estas circunstancias se abre una cortadura, las aguas de la capa subterránea, depositándose en las hendeduras ó grietas, producen desprendimientos del terreno.

En tiempo de heladas suelen estas obstruir la salida natural de las aguas, las cuales acumulándose en el terreno permeable superior, ejercen presiones tanto mayores, cuanto mas gruesa es la capa de agua. Si durante las heladas, en razon de la cohesion de la masa

Digitized by Google

arcillosa no se producen desprendimientos, cuando se verifica el deshielo ó hay lluvias ó derretimiento de nieves, se ablanda el terreno y entonces se verifican.

El reblandecimiento durará mas ó menos tiempo, segun la naturaleza ó estratificacion de la arcilla, la esposicion é inclinacion del talud, estacion, etc.; por esto los desprendimientos pueden tener lugar inmediatamente despues de abierto el desmonte ó bien pasado cierto tiempo.

La esplicacion mas general que se dá de los desprendimientos en esta clase de terrenos, es la de suponer que se verifica un resbalamiento de las capas de arcilla producido por la interposicion de una capa de agua; pero hay motivos para no admitir, al menos en parte, esta hipótesis.

Podria ponerse la objeccion de que á veces se verifican desprendimientos en masas arcillosas sobre las cuales hay terrenos permeables, sin existir la capa de agua subterránea y sin que la masa desprendida contenga partes fluidas, como no sea en la parte inferior de la superficie de resbalamiento. A esta objecion puede contestarse que, no existiendo la capa de agua sino una parte del año, puede haber desaparecido al tiempo de verificarse el desprendimiento, permaneciendo sin embargo la causa principal del reblandecimiento, el cual ha podido progresar despues de agotado por una absorcion lenta.

A pesar de no advertirse á veces una capa de agua bien caracterizada sobre la arcilla, hay un resudamiento que produce efecto por su accion lenta.

Las superficies de resbalamiento no son preexistentes.

Si en un talud cortado en una masa arcillosa sobre la cual insiste un banco permeable, hay una capa de agua intermedia y se verifica un desprendimiento, este no se limitará á la capa de agua ni al resbalamiento de una parte del banco superior, sino que casi siempre tendrá lugar en toda la altura del talud y aun mas abajo. Examinando las tierras desagregadas se verá que la superficie de separacion entre estas y la masa coherente es casi continua; esto

Digitized by Google

se comprueba por muchos ejemplos y no es conciliable con la esplicacion dada del resbalamiento.

La opinion sobre la preexistencia de las superficies de resbalamiento puede fundarse en observaciones inexactas. Seria muy estraño que si hubiese esta preexistencia y no la consecuencia natural de alteracion en la resistencia de rozamiento y cohesion, presentasen siempre la misma forma y se encontrasen frecuentemente en posicion simétrica en ambos lados del desmonte.

Cuando exista una vena ó capa delgada de arcilla debajo de un banco permeable, puede ser suficiente causa para producir un desprendimiento. En este caso si los referidos desprendimientos, no penetrasen debajo de la vena ó capa, no podria negarse la preexistencia de la superficie de resbalamiento; pero aun esto no bastaria generalmente para producir un desprendimiento, si no fuese porque despues de abierto el desmonte, la vena arcillosa se ablanda y cede por efecto del peso del terreno sobrepuesto á él (*).

Bases de los procedimientos de consolidacion de desmontes.

Contribuyendo las influencias atmosféricas á la alteracion de la fuerza de cohesion y de la resistencia de rozamiento, convendrá preservar los taludes de arcilla por medio de una gruesa cubierta, y desviar las aguas interiores del talud ó darlas salida conveniente, de modo que no se detengan por las heladas ú otras causas.

Los procedimientos siguientes fundados en estas bases, asegura Sazilly haber tenido un éxito completo en los terrenos en que los ha puesto en práctica.

Desviacion de las aguas interiores por cuneta ó acueducto esterior.

Los medios propuestos generalmente para conseguir el objeto de que se trata, han sido, primero el averiguar por medio de sondas el sentido de la corriente subterránea, ó de la pendiente gene-

(*) El ingeniero Chaperon, en las notas que se han citado ya, no está conforme en que los efectos tengan lugar principalmente en la superficie del talud. Cree que la rotura del equilibrio de las masas arcillosas por efecto de la cortadura, es la principal causa de los desprendimientos; efectos que solo podrán contrarrestarse en su opinion, construyendo muros de sostenimiento de piedra en seco, cuya altura permita suavizar la inclinacion del talud.

Digitized by Google

ral de la superficie de la capa arcillosa: segundo, abrir una cuneta ó acueducto subterráneo paralelamente á la direccion del desmonte en su parte superior, y cuyo fondo esté al menos á la profundidad de la arcilla y con la pendiente necesaria para que corran bien las aguas: tercero, llenar esta cuneta ó acueducto con guijo hasta mas arriba de los puntos de donde salen las aguas, de modo que forme como un filtro.

Este método seria bueno en los desmontes abiertos en ladera, y si la parte superior de la arcilla tuviese una pendiente general poco desigual; pero no sucede así generalmente, y seria muy costoso el hacer seguir al acueducto las inflexiones del terreno. Ademas para que el remedio fuese eficaz, habria que establecer la cuneta ó acueducto muy próximo al borde de los desmontes para recoger todas las aguas, lo cual facilitaria que en el terreno hubiese un resbalamiento.

Los acueductos subterráneos serian un medio muy costoso y tampoco producirian efecto aunque se profundizasen hasta el fondo del desmonte, en el caso de que alguna capa permeable tuviese la forma de sifon, cuyo punto inferior estuviese á mayor profundidad que el desmonte.

Por lo espuesto se ve que no convendrá en general hacer zanjas ó acueductos, esteriores al desmonte para desviar las aguas que salen por los taludes. Para disminuirlas puede en muchos casos ser bastante igualar el terreno á la inmediacion del desmonte y en su parte anterior, para que puedan correr y tener pronta salida las aguas.

La construccion de zanjas perpendiculares al desmonte rellenas de guijo, abiertas de trecho en trecho, dice Sazilly que han producido malos resultados en los puntos en que empleó este método. Tiene el inconveniente de establecer soluciones de continuidad que facilitan los resbalamientos parciales de la masa, no pueden secar el terreno eficazmente, ni dejan dirigirse las aguas directamente hacia el talud, á no ser cuando la pendiente de la parte superior de las arcillas en el sentido longitudinal, fuese mayor que en el transversal, lo que no es frecuente.

Digitized by Google

Salida directa de las agnas interiores al fondo del desmonte.

Se puede dar salida á las aguas interiores directamente por medios sencillos. Si *n n'* (Fig. 71) es la capa de agua que sale por el talud *AB*, se abre en este y en el sentido longitudinal del desmonte una zanja estrecha *abcd*, que profundice 0m10 al menos en la masa de arcilla. Si la parte superior de dicho desmonte tiene pendientes y contrapendientes en sentido longitudinal iguales ó superiores á 0,01, el fondo de la zanja seguirá próximamente estas pendientes; en el caso contrario, el fondo indicado penetrará á profundidades variables, para conseguir la pendiente 0,01 al menos.

Los puntos mas bajos de la zanja (Fig. 72) comunican con el talud, por medio de zanjas transversales, cuyo fondo *kg* tiene una pendiente de 0,05 al menos hácia el desmonte. El fondo de las zanjas se reviste con ladrillo y mortero hidráulico y la parte inferior *ebcf* (Fig. 71) se rellena de guijo, hasta un poco mas arriba de la capa de agua; el guijo se cubre con tepes ó céspedes invertidos, es decir, estos hácia abajo y la pella de tierra arriba. Tambien puede cubrirse con losetas ó tejas, terraplenando encima, cualquiera que sea el método que se emplee, y apisonando bien.

Empleando el método descrito, no se establecen soluciones de continuidad en los taludes; todas las aguas filtradas se recogen en las zanjas longitudinales, llegan á las transversales y caen por el talud siguiendo las canales revestidas segun indican las figuras 72 y 73. Cuando hay varios bancos de desagüe, se escalonan las zanjas longitudinales, procurando que los puntos mas bajos, dados por las pendientes y contrapendientes, se correspondan en los escalones; y de este modo pueden verter por las mismas canales del talud. Cuando se hacen escalones longitudinales en los taludes para recojer las aguas llovedizas, segun se indicó en otro lugar, es conveniente practicar uno de estos inmediatamente sobre la zanja de desagüe (Fig. 74) abierta en la parte superior de la arcilla, lo cual facilita las reparaciones de dicha zanja; en este caso puede aprovecharse tambien la misma canal para recoger las aguas llovedizas y las subterráneas.

Digitized by Google

Revestimientos de los terrenos arcillosos.

Los revestimientos de mampostería son convenientes cuando puede obtenerse la piedra barata; cuando se hagan, pueden rellenarse sus juntas de arena ó tierra; pero el mejor revestimiento de los taludes arcillosos es el de tierra vegetal apisonada por capas delgadas, sembrando en ella plantas viváceas, segun hemos ya indicado antes. La plantacion de arbustos tendria el inconveniente de que sus raices podrian perjudicar al desarrollarse, á los rellenos de las zanjas. La parte inferior del talud debe revestirse siempre con piedra ó ladrillo, porque si se hiciese de otro material menos sólido, las aguas que corren por el talud podrian destruirle. El espesor mínimo total de la capa de tierra, es de 0^m25, que segun la esperiencia ha probado, es suficiente; su disposion para que quede asegurada al talud, es la representada en las figuras 71 y 74 practicando entradas ó dientes.

Para que las aguas corran sin obstáculo en todas las estaciones, es necesario que el fondo de las zanjas esté á una profundidad conveniente para que no influyan las heladas, que tengan una seccion proporcionada á la cantidad de aguas que se calcule han de pasar por ellas y que no se embrocen ú obstruyan.

La esperiencia ha enseñado ser suficiente que esté la arista superior *e* de la zanja (Fig. 71) de 0,20 á 0,25 metros de profundidad normalmente al talud, para que las heladas no perjudiquen; el ancho en el fondo de la zanja puede ser de 0,25 á 0,30 metros. Cuando fuese necesario una gran seccion, podrian construirse acueductos de piedra en seco. No será fácil que se obstruyan las zanjas teniendo cuidado de emplear en el relleno guijo bien limpio de tierra, y cubriendo este con césped ó tejas para que no pasen las tierras.

Generalmente salen muy limpias las aguas subterráneas, á no ser que tengan en disolucion carbonato calizo ú otras sustancias que se depositen entre el guijo, en cuyo caso seria tambien conveniente construir acueducto en vez de zanja enguijada. Se advierte la obstruccion de la zanja, por el resudamiento que aparece en el talud, y es fácil remediarlo en razon á la poca profundidad de aquella.

Digitized by Google

Zampeado ó revestido de zanjas.

En los sitios en donde la arcilla tiene grietas ó planos de declive, se construye un zampeado de ladrillo y mortero hidráulico: este procedimiento es conveniente emplearle aun en el caso de ser compacto el fondo de la zanja.

Pendiente de las zanjas transversales.

Los desagües transversales pueden hacerse tambien sobre la misma pendiente del talud, de modo que solo desagüen por su pié; tienen la ventaja de poder dar salida á las aguas de la mayor parte de los redientes ó entradas abiertas en la arcilla para asegurar la capa de tierra, segun antes se esplicó (Fig. 71 y 74). Estos redientes ó entradas deben tener una pendiente longitudinal del uno al uno y medio por ciento para que las aguas no se detengan en ellos y los reblandezcan.

El método de consolidacion espuesto, sirve para precaver ó reparar los desprendimientos, y el éxito depende de su pronta ejecucion; por lo que en el caso de abrir un desmonte que sea necesario sanear, se deben ir construyendo las zanjas y demas obras ya indicadas, á medida que se descubran los bancos de desagüe, y al mismo tiempo practicar los desagües transversales provisionales. Este método no es tan fácil de verificar cuando se echan las tierras del desmonte á los costados, pues las rampas de servicio impiden el rompimiento longitudinal.

Desprendimientos.

Cuando se ha verificado un desprendimiento de terreno, es necesario desmontar toda la masa de tierra dislocada y reblandecida. Puede suceder que la superficie de resbalamiento penetre á mas profundidad que el fondo del desmonte; pero ni aun en este caso debe dejarse la parte de tierras removidas que esté encima, todo debe quitarse, pues no es posible sanear la parte arcillosa movida ya, segun lo comprueba la esperiencia.

Estraidas las tierras puede procederse de dos modos. Uno es el de sanear el terreno por acueductos longitudinales y transversales indicados (Fig. 75) en la superficie *A C D* de la parte que no se ha conmovido, y despues echar en la parte *A C D B* tierras de buena

Digitized by Google

calidad por capas sucesivas bien apisonadas. El otro medio que puede adoptarse es el de cortar la parte del desprendimiento como se indica en *c e' f b*, de modo que lo que se desmonta en la parte superior compense próximamente la parte que se maciza en la inferior; este terraplen no debe esceder de un metro de grueso medido normalmente al talud, y el trazado poligonal de este debe afectar la forma general del desprendimiento en el sentido longitudinal. Despues se hace el desmonte superior reservando las tierras buenas para los demas objetos. La superficie *A C e f b*, se sanea como en el primer caso; despues se hace el terraplen de la parte *A C e c a*, y por último se reviste la parte *ef* del talud abierto en la arcilla. Este método es el mas económico y seguro.

En todo caso no deben hacerse los desagües en terreno movido, ni tampoco en el artificial apisonado, para evitar las filtraciones. Cuando el desprendimiento profundiza mas que el fondo del desmonte, es mejor construir un murete de piedra y mortero hidráulico que se apoye sobre el terreno sin remover, y que sobresalga del fondo de la cuneta, y sobre este hacer el desagüe transversal.

Hay casos en que no podria empezarse por desmontar la masa desprendida, como sucede si hay abundantes manantiales, y la arcilla está estratificada, pues podrian tener lugar desprendimientos sucesivos: así que convendrá antes de llegar al terreno reblandecido, empezar por descargar la parte superior, desmontando segun el talud definitivo *c e f b* (Fig. 75), procediendo despues al saneamiento como se dijo antes. Aunque al estraer despues las tierras no quede el perfil indicado á la distancia simétrica del eje del camino, esto es de poca importancia, y aun es preferible quede mas ancho el camino por aquella parte, que añadir tierras que son poco sólidas para construir los acueductos.

Saneamiento en todos los puntos en que hay un terreno permeable sobrepuesto á otro arcilloso

Los manantiales no son á veces permanentes sino periódicos, no advirtiéndose filtraciones al tiempo de construir el desmonte, y al verificarse despues producen desprendimientos; por esto conviene, cuando hay un terreno permeable sobrepuesto á otro arcilloso,

Digitized by Google

construir desde luego los desagües. A veces no es fácil distinguir la separacion entre estas capas y hay que proceder por analogía, examinando la naturaleza de las tierras en otros sitios en donde haya filtraciones; en las madrugadas es cuando se observan mas fácilmente las filtraciones, y tambien es un buen medio para descubrirlas, el echar una capa de arena sobre el talud.

Filtraciones generales.

Hay casos en que el terreno es en general permeable y se verifican filtraciones en una gran estension del talud, no marcándose bien las zonas de filtracion para poder hacer acueductos locales. En este caso convendrá construir revestimientos generales (Fig. 76) que cubran toda la superficie del talud, en donde se verifican las filtraciones. Puede construirse estos revestimientos generales de cantos rodados ó ripio, de 12 á 15 centímetros de grueso, cubiertos por un revestido de céspedes ú otro material y de 30 centímetros de grueso. Se da salida á las aguas para dirigirlas á las cunetas, por acueductos ó canales abiertos en el talud.

Este desagüe general no podria hacerse sino cuando el talud está ya abierto hasta el terreno impermeable, pero puede ser necesario antes de esto practicar algunos desagües locales, que reciban las filtraciones mas abundantes, y sin cuyo auxilio habria esposicion á desprendimientos antes de establecido aquel.

Los medios espuestos no bastarán generalmente en los desmontes abiertos en laderas escarpadas, porque en este caso los desprendimientos se estenderán casi siempre á gran distancia, y será necesario cuando se verifiquen, desmontar grandes masas de tierras. Del mismo modo si hay ya grandes hundimientos en el terreno, se tendrán que construir muros y contrafuertes ó variar el trazado.

Terraplenes.

Causas de los desprendimientos en los terraplenes.

Cuando los terraplenes se construyen con tierras arcillosas, si están reblandecidas presentan mucha dificultad para su empleo, lo cual hace que no sea conveniente. Cuando están secas forman terro-

Digitized by Google

nes cuya dureza hace que sea difícil y costosa la operacion de partirlos del modo conveniente, y si se dejan sin partir, resultan huecos en el terraplen, el agua se introduce en ellos, produce asientos y dislocaciones, y de aquí resultan desprendimientos de trozos mas ó menos considerables.

Medios de consolidacion.

Puede emplearse tierras mas sueltas mezcladas con las arcillas; pero aun cuando para rellenar los huecos se empleasen estas tierras, serian todavía de temer los desprendimientos; con esta precaucion no podria evitarse el asiento desigual y resultarian en la superficie deformaciones y grietas; en estas se depositarian las aguas, y penetrando por la tierra permeable, se detendrian en el fondo, reblandeciendo la arcilla y produciendo desprendimientos. Tambien al secarse las arcillas se contraen y forman grietas que producen estos efectos.

Cuando los desmontes producen arcilla y tambien buenas tierras, se ha propuesto formar el núcleo del terraplen con las arcillas, y los prismas laterales de los taludes con tierra, cuyo grueso en la coronacion sea de 30 á 50 centímetros y de gran base, los cuales contrarresten la accion del núcleo de arcilla. Este sistema podrá evitar los desprendimientos que resultarian con la arcilla sola, y para que salgan bien no deben construirse estos prismas laterales al mismo tiempo que el relleno interior, con el objeto de que las tierras no se mezclen con la arcilla. Para practicar este método se empieza por el núcleo ó relleno de arcilla desechando la que esté reblandecida; este relleno podrá sostenerse con un talud de 0,8 á uno de base por uno de altura, y cuando haya hecha cierta longitud se escalona el talud para que unan mejor los prismas laterales, se deja limpia de arcilla la base en que han de asentar estos construyéndolos sin perder tiempo; se les da 1,5 de base por uno de altura.

A veces no es fácil seguir este sistema, bien sea por la clase de trasporte, por falta de tierra ú otras causas; pero de todos modos si se construye un terraplen con tierra y arcilla, es muy mal sistema el

Digitized by Google

de mezclar las dos clases, y en este caso vale mas construirle por partes de tierra y de arcilla separadas.

Se suelen construir terraplenes de arcilla con un talud de 45° y el revestimiento de 1,5 de base por uno de altura, compuesto de una pequeña capa de arena formando la superficie y el resto del espesor de dicho revestimiento con capas alternadas de arena y arcilla apisonada, inclinadas hácia el interior. Este sistema es malo en razon á que las capas de arcilla presentan á las aguas que se filtran una gran superficie, se reblandecen y las capas de arena resbalan sobre ellas.

Terraplen sobre terreno arcilloso.

Puede suceder que haya de construirse un terraplen sobre terreno inclinado, compuesto de capas permeables alternadas con otras impermeables que tengan manantiales constantes ó periódicos; en este caso debe sanearse el terreno por acueductos, del mismo modo que se indicó al hablar de los desmontes, pues de no hacerse esto, las aguas que salieren despues de construido el terraplen, reblandecerian el terreno dando lugar á reparaciones considerables.

Consolidacion de los terraplenes arcillosos.

Cuando no es posible emplear otras tierras que las arcillosas y se puede disponer de alguna parte de buena calidad, se deben hacer grandes banquetas con esta al pie del talud en donde se crea espuesto á desprendimientos, y al mismo tiempo procurar que no se detengan aguas al pie del talud, para lo cual se abren cunetas.

Verificado un desprendimiento en esta clase de terraplenes, no debe rellenarse con tierra la parte *AFGH* sobre la masa movida (Figura 77), porque su peso haria desmoronarse á la inferior y habria que repetir la operacion varias veces, para conseguir que se contuviese el talud; solo cuando se hubiera estraido completamente la parte arcillosa *GEBDCH*, se podria llegar á verificarlo. Será mejor y mas ecónomico el desmontar desde luego la parte reblandecida y rellenar inmediatamente el espacio *AJGB* que queda; este procedimiento ha producido muy buenos resultados en la práctica.

Digitized by Google

Despues de desmontar toda la parte de tierra que hay hasta la superficie de resbalamiento, se corta por escalones (Fig. 77) teniendo cuidado de no dejar nada de arcilla entre el suelo y las tierras echadas, hasta un punto *J* á la distancia *IJ* de la parte superior *A* del talud de 0,8 de la altura de este ó lo mas igual á ella.

Para evitar el tener que desmontar una gran cantidad de arcilla y emplear mucha tierra, y al mismo tiempo el obstruir el paso del camino, se prefiere reforzar el desprendimiento (Fig. 77) por un sólido de tierra buena *KLM*, suavizando despues el talud, y echando tierra nueva en la parte superior *MNPA*; sin embargo, no siendo posible saber el grueso conveniente que ha de tener el refuerzo, será mas seguro el primer método. (*).

Opinion de Gregory sobre los desprendimientos.

Durante la construccion del camino de hierro de Croydon en Inglaterra, se verificaron grandes desprendimientos en algunas cortaduras abiertas en terreno arcilloso, y estos efectos los atribuye Gregory á la introduccion del agua por las capas arcillosas y á la descomposicion de las piritas de hierro; el ácido sulfúrico desprendido de estas, combinado con el carbonato de cal, forma cristales de sulfato de cal y el aumento de volúmen que tiene lugar pudo contribuir al efecto indicado.

Opinion de Stephenson.

Robert Stephenson consideraba los desprendimientos como una masa que baja un plano inclinado por efecto de su gravedad, y oponia á este efecto el rozamiento. Para esto cada 4 metros de distancia abria cajas en el talud de alto á bajo de 1,5 metros próximamente de ancho, hasta penetrar en la arcilla sólida inferior, y estas ranuras las rellenaba con mampostería, creta ó grava bien apisonada, dividiendo de este modo la masa en partes aisladas, cuyo

(*) El ingeniero Chaperon cree mas natural el suponer que los resbalamientos que tienen lugar cuando se construye un terraplen sobre terreno arcilloso en pendiente, sean causados por la sobrecarga que esperimente el terreno con el peso del terraplen, cuando las aguas le reblandecen. Cree que estos casos ademas de dar la salida conveniente á las aguas, solo podrán evitarse construyendo muros de sostenimiento y contrafuertes.

Digitized by Google

rozamiento en estos contrafuertes evitaba el desprendimiento.

Esta opinion fue rebatida por varios individuos de la sociedad de ingenieros de Lóndres, en la que se discutieron las causas de los desprendimientos en los desmontes, diciéndose por algnnos que no produciria efecto este sistema en el caso de estar la masa saturada de agua (*).

Terraplenes en las márgenes de un rio.

Cuando se construyen terraplenes á las márgenes de un rio ó en sitio espuesto á inundaciones, es necesario resguardarlos del efecto de las aguas hasta la parte que estas puedan llegar, para lo cual se construyen muretes de piedra ó bien se fortifica con escolleras. Tambien se pueden construir estacadas sencillas ó dobles, rellenando con escollera el intermedio. Estos casos estan representados en las figuras 77, 78, 79 y 80.

Fortificacion de terraplenes en laderas de montaña.

Cuando se construyen caminos en ladera, es lo mas frecuente el hacer una parte de su ancho en desmonte y la otra en terraplen, segun se ha indicado en el lugar correspondiente. Si la inclinacion de esta ladera es considerable, se corren las tierras y para evitarlo, se construyen muros de sostenimiento de piedra en seco ó con mortero. En el primer caso suele darse á los muros un grueso medio de *dos quintos* de su altura, y en el segundo caso de *un tercio*; sin embargo, debe calcularse su grueso en cada caso. Tambien suele dárseles un talud de un *quinto de la altura* cuando son en seco y de un *décimo* cuando están hechos con mezcla.

(*) Puede verse la discusion citada en la memoria sobre los desprendimientos que acompaña como apéndice al *Portefeuille de chemins de fer*.

Digitized by Google

QUINTA SECCION.

CLASIFICACION DE LAS PARTES QUE CONSTITUYEN LOS PERFILES TRANSVERSALES DE UN CAMINO; SUS FORMAS Y DIMENSIONES; SU CONSTRUCCION.

Al tratar del trazado se ha visto la situacion ó circunstancias que un camino puede presentar, relativamente al terreno en que se construye, que pueden ser las siguientes:

Situacion del plano rasante, relativamente al terreno natural.

Hallarse el plano rasante del camino trazado sobre el mismo terreno natural; hallarse en terraplen, en desmonte, ó parte en desmonte y parte en terraplen.

En el primer caso (Fig. 82), el perfil transversal de una carretera está compuesto: de la caja, en la cual se construye el afirmado para el tránsito de los carruajes y caballerías; de los paseos ó refuerzos laterales á uno y otro lado de la caja, que sirven para encajonar el firme y al mismo tiempo para el tránsito de los peatones; de las cunetas, una de cada lado, cuyo objeto es recojer las aguas del firme y terrenos de los lados del camino y conducirlas á los puntos mas bajos del terreno.

En el segundo caso (Fig. 83), solo hay necesidad de construir la caja para el afirmado y los paseos, en razon á que las aguas pueden verter por los taludes ó escarpes del terraplen.

En el tercer caso (Fig. 84), el camino está compuesto de la caja, de los paseos y de las cunetas á ambos lados; pues las aguas del firme no tienen mas salida que por estas, y en la mayor parte de los casos tambien vierten en ellas las aguas del terreno superior.

En el caso cuarto (Fig. 85), que es la combinacion del segundo y tercero, no habrá cuneta sino del lado del desmonte; suele suceder cuando se presenta el terreno en ladera, que es el caso actual,

Digitized by Google

que se acumulen muchas aguas y sea necesario abrir á ciertas distancias tageas ó desagües, segun se indica en la figura 85, dando salida á estas, desde el punto *a* del lado del desmonte al opuesto *b* del terraplen.

El perfil transversal del firme puede tener varias formas; una de ellas es la convexa, adoptada para los afirmados de carreteras; tiene la ventaja de poder transitar por él los carruajes con menos esposicion de tropezar unos con otros, y al mismo tiempo de que se distribuyen mejor las aguas; ademas es el único conveniente para la construccion de los firmes ordinarios, segun se verá al tratar de estos.

En la descripcion anterior de las diferentes partes que constituyen un perfil, se han supuesto las cunetas situadas entre el paseo y el terreno de los costados, por ser el sistema adoptado generalmente en las carreteras; sin embargo, en algunos casos se adopta el perfil representado (Fig. 86), en el cual se colocan las cunetas *c* entre el firme y los paseos: de este modo las aguas del firme no tienen que pasar sobre aquellos, á los que se da una pequeña inclinacion transversal. Este sistema no se adopta generalmente sino para firmes empedrados, en razon á que es necesario construir dichas cunetas tambien empedradas.

En los caminos en ladera se ha solido adoptar la seccion indicada (Fig. 87) dando la forma plana al firme con una inclinacion de 1 á 2 por 100 hácia la parte del desmonte; esta disposicion tiene el inconveniente de exigir mayor anchura en la cuneta, estar sujeto el firme á mayores degradaciones y ser mas difícil su conservacion, en particular si se construye de piedra machacada.

Tambien hay otro perfil llamado cóncavo (Fig. 88) inadmisible para los firmes comunes de carreteras y empleado con frecuencia en los empedrados; tiene el inconveniente de que los carruajes que transitan por el centro pueden tropezar con mas facilidad. Suele sustituirse este perfil por el representado (Fig. 89), compuesto de dos planos inclinados, formando un arroyo central. Este sistema tiene los mismos inconvenientes que el anterior; sin embargo pre-

Digitized by Google

sentan ambos la ventaja, cuando se adoptan en los afirmados de las calles, que las aguas no perjudican al tránsito de los peatones como cuando los arroyos corren á los lados de las aceras.

Anchura del firme y partes accesorias.

Para que los carruajes siguiesen distintas direcciones con mas frecuencia, convendria que la anchura del firme fuese considerable; pero esto aumentaria mucho el costo de construccion y conservacion.

Aun suponiendo un ancho suficiente para todas las necesidades de la circulacion, bastaria solo el necesario para el paso de tres carruajes de frente, suponiendo que se cruzan dos y que aun haya paso para otro á gran velocidad, como los correos, sin que tenga que detenerse; pero es suficiente que haya paso para dos carruajes y en algunos casos, como en los caminos vecinales ó municipales, basta para el paso de uno solo, haciendo apartaderos en ciertos puntos. Con arreglo á la ley de 7 de mayo de 1851, la clasificacion de las carreteras es la siguiente:

1.ª clase.	Carreteras	generales.
2.ª	————	transversales.
3.ª	————	provinciales.
4.ª	————	locales.

No habiéndose dispuesto nada relativamente al ancho de estas carreteras, creemos que debe conservarse para las dos primeras clases, el asignado para las carreteras llamadas antes *nacionales*; para las *locales* el que estaba marcado en las *municipales* y el mismo que indica el formulario de 1846, para las carreteras provinciales; segun esto pueden adoptarse las dimensiones que se fijan en el siguiente cuadro.

Digitized by Google

CLASES.	FIRME.		PASEOS.		TOTAL.	
	Metros.	Pies.	Metros.	Pies.	Metros.	Pies.
1.ª y 2.ª	6,63	24	3,34	12	10,02	36
3.ª	6,13	22	2,78	10	8,91	32
4.ª	5,60	20	2,23	8	7,83	28

La primera clase comprende las carreteras que van desde Madrid á las capitales de provincia y á los departamentos de marina y aduanas de gran movimiento mercantil, habilitadas para el comercio estranjero. Los ramales que mande construir el gobierno y que, partiendo de una carretera general, conduzcan á alguno de los puntos designados antes, forman parte de la misma carretera. Las de segunda clase son las que, pasando por una ó varias capitales de provincia ó centros de mayor poblacion ó tráfico, cortan ó enlazan á dos ó mas carreteras generales. Las de tercera clase, las que enlazan una carretera general con una transversal; las que, partiendo de una carretera general ó de una transversal, terminan en un punto de produccion ó de esportacion; las que ponen en comunicacion directa dos ó mas provincias, y las que en las Islas Baleares ó Canarias pongan en comunicacion á la capital con otros puntos marítimos, ó á dos ó mas puntos de produccion ó de esportacion. Las de cuarta clase, las que algunos pueblos de una ó mas provincias promueven y ejecutan asociados para un objeto de utilidad comun.

El ancho del firme en la primera y segunda clase podrá aumentarse haciéndole de 8,36 metros (30 pies) en las inmediaciones de la capital; los paseos podrán reducirse á 0,83 metros (3 pies) en los grandes desmontes, suprimiéndolos en los puntos muy costosos, reduciéndose en este caso el firme á 6,13 metros (22 pies).

En los de tercera clase podrá aumentarse el firme hasta 7,24

Digitized by Google

metros (26 pies) en las inmediaciones de la capital, y disminuirse en la misma proporcion que los de primera clase en los pasos difíciles, observándose las mismas prescripciones en la cuarta.

Construccion de la caja para el firme.

Algunos ingenieros exigen que la solera de la caja destinada á recibir el firme se eleve en las esplanaciones sobre el terreno natural para preservarla de la humedad; otros no dan importancia á esta disposicion y creen que es un gasto inútil el que se causaria para conseguir este resultado.

No es sin embargo indiferente el emplear uno ú otro método; pero el dar reglas generales para todos los casos seria inconveniente; en terrenos resistentes y secos no habrá peligro en abrir la caja despues de bien hecha la esplanacion, siempre que á las aguas de las cunetas pueda darse la salida conveniente. El que esté la solera de las cunetas mas baja que el fondo de la caja del firme, suele bastar para que las aguas que se filtren por este tengan la suficiente salida.

El método de abrir la caja en el terreno natural, siempre que esto puede verificarse, tiene la ventaja de que los refuerzos ó paseos que la forman queden mas sólidos que cuando se hacen de tierras echadas ó sobrepuestas al terreno, pero tiene el inconveniente del mayor costo por el trasporte de las tierras de caja y cunetas fuera del camino. Cuando se eleva la solera de la caja sobre el terreno natural hay al contrario que trasportar la tierra para los refuerzos de fuera del camino, y esto produce tambien aumento en el costo.

Para evitar los inconvenientes anteriores se suele tomar un término medio, que es el de abrir parte de la caja en el terreno natural, de modo que con la tierra de esta y de las cunetas se tenga próximamente la suficiente para los refuerzos ó paseos; este sistema es el mas económico.

Cualquiera que sea el método que se siga, es conveniente verificar antes con esmero la esplanacion. El elevar la solera sobre el terreno tiene tambien el inconveniente de formarse con tierra mo-

Digitized by Google

vida por lo cual resulta menos firme y consistente que cuando se abre en el terreno natural.

La solera de la caja puede ser de seccion transversal horizontal ó con curvatura ó bombeo en el centro. Este último método tiene la ventaja de echar á los lados las aguas facilitando mas así los desagües y desecamiento de aquella, por medio de acueductos que pasan por los paseos; ademas puede obtenerse alguna economía de piedra en el centro del firme. En las cajas planas es fácil que al verificar las operaciones del afirmado, se formen depresiones que hagan cóncava la solera y se deposite en ellas el agua, cosa perjudicial aun dando poca importancia á la impermeabilidad del firme; pues resulta que por la permanencia de las aguas se ablanda el terreno y puede ocasionar hundimientos en la superficie del camino, formándose baches y alterando su perfil.

La altura de los bordes de la caja está subordinada al grueso del firme y para evitar los desmoronamientos, es conveniente hacerlos con un talud pequeño en vez de ser verticales.

Sabiendo la profundidad que ha de tener la caja, se toma desde los bordes ó mordientes, rectificando la rasante de la solera por medio de niveletas; tambien se emplean cerchas ó plantillas transversales que pueden ser las mismas que para la construccion del afirmado, y tambien se fijan diversos puntos de la solera atirantando cuerdas ó colocando un reglon desde los paseos y bajando ordenadas con jalones ó estaquillas.

Preparacion del terreno de la caja del firme segun su calidad.

La clase del terreno sobre la cual se sienta el afirmado, puede ser de varias clases: en roca; en tierra consistente, ya sea en desmonte ó sobre terraplenes bien apisonados; en terrenos arcillosos y en terrenos pantanosos.

Roca.

Cuando el terreno es de roca dura hay qne abrir caja del mismo modo que en los demas casos; la gran dureza del asiento haria muy rígidos los firmes en este caso si se hicieran demasiado delgados y estarian los materiales mas espuestos á deshacerse con la pre-

Digitized by Google

sion de los carruajes por la gran resistencia que ofrece el suelo. El grueso del firme debe de ser poco menos en este caso que el que se construye en circunstancias comunes, suprimiéndose solo la capa de piedras mas gruesas de la parte inferior, de que luego hablaremos.

Terrenos arcillosos.

Sobre fondo de arcilla el agua no se filtra, y por consiguiente forma una pasta. Para proporcionar el desagüe conveniente se abren regueras ó zanjas de 0,2 á 0,5 metros de profundidad en sentido longitudinal del camino; estas zanjas vienen á verter con pendientes alternadas á otras transversales que desagüen por debajo de los paseos hasta las cunetas ó taludes del terraplen, rellenándolas con piedra suelta, arena ó faginas que dejen correr el agua y colocando encima el firme. A veces tambien se levanta una capa de esta arcilla y se la reemplaza con arena ó guijo, lo cual es aplicable en el caso de no poder dar desagües convenientes. En esta clase de terrenos, cuando están situados en partes bajas y húmedas y esposicion al Norte debe hacerse el firme de mas espesor.

El saneamiento de los terrenos por el medio que en Francia é Inglaterra se llama *drainage*, puede tener aplicacion ventajosa en el caso de que nos ocupamos; indicaremos luego el método que se ha propuesto para este objeto.

Terrenos pantanosos.

En los terrenos pantanosos ó muy flojos puede emplearse para base del afirmado un emparrillado de madera ó bien de enfaginado, cubierto con una capa de piedra algo gruesa de 40 á 50 centímetros de espesor y á veces otra segunda capa de piedra gruesa. Tambien suele bastar á veces el saneamiento por medio de las zanjas indicadas antes, ó bien la construccion de un empedrado ó enlosado inferior que en algunas localidades suele llamarse encachado.

Cuando el camino va en terraplen en esta clase de terrenos, suele ser suficiente dejar sentar aquel mucho tiempo; pero tambien pueden emplearse los emparrillados indicados para base del

Digitized by Google

terraplen, y de este modo, en casos especiales, obtener mayor seguridad.

Saneamiento del terreno.

Para el saneamiento del terreno sobre que se establece el afirmado, con el objeto de que las aguas no se depositen en el fondo de la caja, en particular en los terrenos arcillosos ó pantanosos, se ha propuesto en 1850 por Basompiers la aplicacion del *drainage*. Este sistema, muy admitido ya para sanear los terrenos dedicados al cultivo, consiste en la colocacion de una línea de tubos de barro poroso establecida en el centro de la caja á 1,50 metros de profundidad, con salidas laterales para las aguas cada 400 metros. Para caminos muy anchos propone dos líneas, una debajo de cada paseo á un metro de profundidad, los tubos tendrian 0,30 á 0,35 metros de longitud, y un diámetro de 4 centímetros próximamente. Seria necesario tomar la precaucion de no construir el firme sino un año despues de establecidos los tubos.

Una de las primeras aplicaciones de este sistema en Francia en terreno húmedo, sobre el cual habia de establecerse el firme de una carretera, produjo muy buenos resultados; habiendo conseguido que á los dos meses estuviese seco para establecer el afirmado. Se colocó una fila central de tubos á $0,^{m}8$ próximamente de profundidad, de $0,^{m}35$ de diámetro interior y otras filas oblícuas de $0,^{m}015$ de diámetro para conducir las aguas al tubo principal, y este desaguaba en acueductos subterráneos.

En terraplen, y en general aun en los desmontes, pueden establecerse solo las filas transversales que desagüen á los costados.

La fig. 92 es el perfil de un camino en terreno pantanoso, en el cual Mac-Adam verificó el saneamiento por medio de los pequeños acueductos indicados en la figura, colocados á cortas distancias entre sí; su seccion era de unos 20 centímetros al menos y construidos con piedra en seco.

Digitized by Google

Datos de mano de obra.

Segun nuestras observaciones, un peon buen trabajador puede abrir en un jornal de 10 horas de trabajo en tierra fuerte, 5 metros lineales de caja de 6,2 metros de ancho, 25 centímetros de profundidad en el mordiente ó bordes y 11 centímetros en el centro. Abriendo caja y cunetas podia hacer en las mismas circunstancias unos 2 metros lineales de caja y cunetas por jornal.

Construccion de los paseos ó refuerzos.

Se ha visto al hablar de la caja, cual es el sistema de construccion mas conveniente de los refuerzos ó paseos; relativamente á sus dimensiones seria suficiente medio metro, siempre que su objeto fuera solo el contener la piedra del firme; pero cuando lo es tambien el que puedan servir para el tránsito de los peatones, se les suele dar hasta $1^{m}8$. Estas dimensiones son escesivas y hacen que aumente mucho el costo de una carretera en razon á los mayores desmontes y terraplenes que ocasiona y mayores gastos de espropiacion.

Los paseos construidos con tierras sacadas de la caja ó cunetas, tienen el inconveniente de ser poco resistentes si no se toma la precaucion de apisonarlos bien, lo cual debe verificarse en estos casos con esmero por medio de pisones de cuña.

No hay conformidad en los pareceres respecto de la utilidad de los paseos opinando algunos que debe estenderse en todo el ancho del camino la última capa del firme, para que las caballerías y aun los carruajes puedan transitar por ellos, evitándose así el lodo y polvo que suelen producir aquellos; tambien se evitaria con esto las consecuencias que nuestros reglamentos de policía de carreteras ocasionan en razon á las multas que se establecen para los carruajes que se salen del firme.

Para encajonar el firme se generalizó en España al construir algunas carreteras á mediados del siglo pasado, el colocar dos filas ó cintas de losetas ó adoquines, una de cada lado, formando las paredes y refuerzos; esta construccion se ha desechado porque es innecesaria y muy costosa.

Digitized by Google

Cunetas.

La solera de las cunetas debe estar mas baja que el fondo de la caja; abierta en el terreno natural como este no sea de piedra, exige muchos cuidados para evitar los aterramientos, socavaciones, etc. Por esta causa seria mejor empedrarlas, pero costaria mas su construccion; sin embargo, es el partido que se toma en las travesías de los pueblos.

El ancho que se da generalmente á las cunetas en la boca ó parte superior, es de 0,83 metros y 0,42 de profundidad; estas dimensiones dependen de la cantidad de aguas que han de recibir, debiendo ser mayores generalmente en el caso de que el camino esté abierto á media ladera.

La pendiente que se da á las cunetas en los terrenos consistentes es la misma que la del camino; cuando esta sea escesiva y los terrenos son arenosos ó flojos resultan socavaciones por la accion de las aguas que corren con demasiada velocidad, y para evitarlo se disponen por escalones, haciendo tramos de cunetas con pendientes regulares; la solera del escalon ó tramo sucesivo mas bajo, se empiedra, poniendo muretes de mampostería de piedra ó ladrillo en las caidas; el agua pierde en ellas su velocidad y se evitan las socavaciones (Fig. 90).

Terrenos necesarios para la carretera.

Segun que el camino esté en esplanacion, desmonte ó terraplen, así exigirá una faja mas ó menos considerable de terreno, y segun sean tambien las alturas en los dos últimos casos, pues los taludes tendrán mas base cuanto mas altos sean. Así suponiendo un camino cuya rasante esté en el terreno natural, se necesitará ademas de la faja necesaria para el firme, paseos y cunetas, una á cada lado para depósitos de materiales, ó para que los labradores no se aproximen á las cunetas y las destruyan; esta faja suele ser de un metro. En los desmontes segun sea la consistencia del terreno, así abrirá mas ó menos la seccion superior; de suerte que habrá que contar con esta abertura entre los bordes superiores del talud, y ademas con lo que ocuparan los caballeros de la tierra de los desmontes, en el caso que haya que depositarla arriba por no tener

Digitized by Google

donde echarlas. Es necesario tener presente en este caso, que los caballeros no deben estar colocados al borde del talud, porque de este modo las tierras caen á las cunetas y ejercen tambien presion sobre el terreno haciendo que se desmorone con mas facilidad; así será conveniente retirarlos 2 ó 3 pies del borde, y habrá que contar con este espacio ademas de lo que ocupe el caballero.

En el caso de que se recojan muchas aguas en tiempo de lluvias en los terrenos superiores, es tambien conveniente desviar estas aguas para que no se acumulen en las cunetas y cayendo en esceso por los taludes los degraden; por lo que es necesario contar con los terrenos que ocupen estas zanjas.

Cuando el camino va en terraplen debe contarse con una faja de terreno al pie del talud, para que no se aproximen á labrar hasta dicho estremo, y á veces en terrenos húmedos hay necesidad de abrir zanjas al pie de los taludes dejando un refuerzo ó banqueta de 0,8 á 1 metro para que las aguas no los corroan.

Durante la construccion del camino se necesitan ademas terrenos para depósitos de materiales y para sacar las tierras que han de formar los terraplenes, por cuyos terrenos generalmente solo hay que abonar daños y perjuicios á sus dueños, sin hacer espropiacion.

En el caso referido de tomar tierras de prestaciones, es preciso dejar *damas* en toda la estension en los puntos en que haya cambios de altura, para no dar lugar á cuestiones sobre estas alturas del terreno al hacer las indemnizaciones. Estas damas son, como se indica al hablar de los desmontes, partes del terreno que se dejan sin desmontar en varios sitios formando conos ó pirámides que sirven de señales.

Digitized by Google

SESTA SECCION.

AFIRMADO DE LAS CARRETERAS.

Historia y descripcion de los diferentes sistemas de afirmado; materiales que se emplean; sus propiedades; coste de los firmes.

Observaciones preliminares.

Cuando se juzgaba la duracion de un firme como su cualidad principal, se consideraban como los mejores los construidos por los romanos, y ya que por su gran costo no se ejecutasen como aquellos, se hacian con grandes piedras, no cuidando de su conservacion, sino en épocas mas ó menos lejanas en que los deterioros eran escesivos.

Multiplicada la circulacion se trató de reformar los empedrados antiguos, y tambien de obtener firmes menos duros y mas cómodos para la circulacion de los carruajes. Vamos á ocuparnos de los principales sistemas de afirmado, describiendo los llamados firmes ordinarios ó de piedras machacadas, los empedrados y tambien otras varias clases ensayadas con mas ó menos éxito.

Puede decirse que aun en la actualidad no hay un sistema que llene las necesidades del tránsito, ni que satisfaga bajo el punto de vista económico, y no es de estrañar suceda esto, pues es sumamente difícil conciliar la duracion y el buen estado constante de un firme, con la elásticidad ó poca rigidez y dureza que fatiga á los motores y destruye los carruajes.

No es solo del sistema de construccion del que depende la bondad del firme, sino tambien de la calidad del material y del clima en que se construye; circunstancia que complica y que hace mas difícil la resolucion del problema.

Empezaremos por la descripcion de los diversos sistemas de

Digitized by Google

firmes ordinarios, verificando primero la de los afirmados romanos, no porque pertenezcan á esta clase, sino por ser los primeros que pueden considerarse en la historia de aquellos.

Firmes romanos.

Los romanos, cuyas obras tienen un carácter de duracion y solidez muy marcado, construyeron los caminos de los paises que conquistaron y los de su patria con los brazos de los esclavos y con los grandes recursos de que disponian; así es que les dieron una solidez escesiva, no reparando en su elevado costo, como lo prueban los restos que se conservan de aquellos caminos en varios paises; entre los que es en España el mas notable, la llamada via Argentina ó camino de la Plata, desde Salamanca por Mérida á Sevilla.

Estos firmes estaban compuestos de diversas capas de mampostería y hormigon, cuyo espesor era de mas de un metro en algunos casos y el todo cubierto con losas. Algunos firmes que se conservan todavía tienen 4,5 á 4,75 metros de ancho, con refuerzos ó banquetas á los costados de 0,6 y á veces de 2 á 3 metros de ancho.

Como se ve, indudablemente eran muy sólidos estos caminos; pero inadmisibles para la circulacion actual por su escesiva rigidez, ademas del gran costo inútil de su establecimiento; la descripcion detallada de su construccion puede verse en la obra de Bergier, titulada *Historia de los caminos del imperio romano.*

Sistema misto.

Para atenuar las degradaciones de los firmes que se producen por el contínuo roce de las ruedas de los carruajes, y al mismo tiempo proporcionar el suficiente asidero y menos fatiga á las caballerías, se ideó por algunos ingenieros, y entre ellos por Poloneeau en 1828, firmes mistos con carriles de losas para las ruedas y zonas intermedias de afirmado comun. En Inglaterra se aplicó este sistema en 1829 en el *comercial Road*, haciendo los carriles de granito, y á los cinco años de uso estaban todavía en buen estado. Minard valuaba el rozamiento en estos carriles en $^1/_{90}$ de la carga,

Digitized by Google

que es un tercio próximamente del que tiene lugar en los firmes empedrados, y por consiguiente exigian tres veces menos caballerías que en aquellos.

Estos firmes son caros, las caballerías no siempre siguen el mismo camino y el movimiento es duro, pero pueden tener buenas aplicaciones en los caminos que se construyan para la estraccion de minerales ó servicio de fábricas, etc., en paises abundantes de piedra; sin embargo se verá mas adelante que este sistema empleado en Italia se propone, como una de las soluciones mas ventajosas para las calles de las poblaciones, por el ingeniero Baudemoulin.

Sistema de Tresaguet.

El ingeniero Tresaguet fué de los primeros que se ocuparon en Francia á fines del siglo pasado, de la reforma de los firmes de carreteras; su sistema consistia en formarlos de tres capas, la inferior de piedras de 16 á 20 centímetros, colocadas por su cara mas plana, labrada toscamente y rellenando los huecos que resultaban con piedra mas pequeña. La segunda capa se formaba con piedra de 4 centímetros, hasta la altura del mordiente ó borde de la caja. La tercera capa era de piedra machacada de 3 centímetros próximamente. Este sistema se sigue aun en el dia por varios ingenieros.

Sistema de Mac-Adam.

Uno de los sistemas de afirmados que mas ocupó á los ingenieros generalizándose en diversos paises, fué el del práctico inglés Mac-Adam, el cual alcanzó gran éxito en Inglaterra desde 1819 y que valió á este recompensas por valor de 6,000 libras esterlinas y sueldos considerables.

Considera Mac-Adam como circunstancia esencial el que permanezca seco el firme interiormente, pues en particular en los paises frios, el agua que penetra en él le empapa, y helándose le hace aumentar de volúmen y cuando deshiela repentinamente destruye la union de los materiales. Para evitarlo, en vez de abrir la caja sobre el terreno natural cuando el camino vá sobre este, eleva el fondo ó solera de aquella; de este modo las aguas que penetran por

Digitized by Google

el firme podrán tener mejor salida á los costados, dejando en seco la caja.

Construye el firme con tres capas compuestas de piedras de igual tamaño de 4 á 5 centímetros de lado. Despues de estendidas, hace que pasen sobre cada una los carruajes y caballerías para que las apisonen. El grueso total que aconseja dar á los firmes es de 23 á 24 centímetros lo mas; generalmente, los firmes que construia no tenian sino de 13 á 14. La dureza de la piedra y pequeño tamaño de ella lo juzgaba de tal importancia, que hacia acribar esta, desechar los pedazos que pasaban de 0,17 kilógramos de peso, escogiendo la piedra dura y bien limpia de tierra, para lo cual aconseja el lavarla antes de emplearla, echando agua con abundancia sobre los montones ó por otros medios.

La flecha ó esceso de altura que daba en el centro del firme era de 7 centímetros, teniendo este una anchura de 9 metros próximamente.

Con estas precauciones supone que á pesar de ser preferible la piedra dura, podrá obtenerse con cualquier clase de esta un firme impermeable que se desgastará uniformemente, permaneciendo transitable hasta perder casi todo su espesor: una de las circunstancias que exige igualmente, es que la piedra que se emplee sea machacada, para que pueda trabar el firme, pues este efecto no podria obtenerse con el guijo ó piedras redondeadas.

El sistema de Mac-Adam produjo largas discusiones entre varios ingenieros, queriendo demostrar algunos que muchos firmes á pesar de penetrar el agua hasta la caja, no por eso dejaban de ser muy buenos; tambien negaron la necesidad de que la piedra que se emplease estuviera exenta de detritus, pues habia firmes en los que la cuarta parte se componia de estos, y estaban en muy buen estado de viabilidad; considerándose ademas por estos ingenieros que la perfecta igualdad de la piedra no es esencial y aumenta el costo, del mismo modo que la operacion de apisonar cada capa del firme.

Digitized by Google

Sistema de Telford.

Otro método de construir los firmes alcanzó hácia la misma época que el de Mac-Adam bastantes partidarios en Inglaterra, formando hasta cierto punto dos escuelas opuestas. Este método fué el propuesto por Telford.

Estableció este que no podian existir buenos firmes sin fundacion ó cimiento de piedras gruesas, pues de lo contrario, el tiro de las caballerías era mas difícil, la conservacion mas costosa y el desgaste mayor.

Sobre el empedrado referido colocaba una capa de piedra machacada formando un firme de 33 á 40 centímetros de espesor al menos. Creia que solo las piedras duras pueden producir buenos firmes, siendo perjudicial la elasticidad.

Sistema de Polonceau.

En 1822, el ingeniero Polonceau propuso un sistema de construccion fundado en la observacion de que en un firme, los materiales desgastados ó detritus de la superficie vienen á introducirse entre las piedras de que se compone. Propuso, pues, combinar con las piedras duras otros materiales mas tiernos, tales como los detritus de calizas, en la proporcion de un tercio á un quinto, colocándolos por capas alternadas con la piedra y formando la superior con los materiales mas duros, cubierta con un recebo de detritus.

El complemento de esta construccion era el cilindro ó compresion del firme sobre cada capa y aun sobre la caja misma por un rodillo de peso de 6000 kilógramos. De este modo se verificaba una trabazon mas íntima en los materiales, efecto que tarda mucho en conseguirse con la circulacion, se verifica con desigualdad y produce fatiga en el ganado y desarreglo en el firme.

Mas adelante se tratará del cilindro compresor haciendo la descripcion de él y detallando las circunstancias de su empleo.

Sistema de Candemberg

Por consideraciones análogas á las que condujeron á Polonceau á su método de construccion de afirmado, Candemberg examinando lo que se verifica en los firmes por efecto del acarreo, á saber, que los materiales desechos por la presion de las ruedas caen en los in-

Digitized by Google

tersticios que dejan los materiales mas gruesos y sirven como de cemento, le condujo á construir los firmes con materiales de varios tamaños; con los mas pequeños forma una especie de mortero que que no deja penetrar fácilmente el agua, consiguiendo al mismo tiempo que la contraccion por la sequedad no produzca huecos.

El mortero de detritus que aconseja emplear, depende de la clase de materiales disponibles en cada localidad, pudiéndose en defecto de otros usar una mezcla de arena y arcilla; esta última en la proporcion necesaria solo para llenar los huecos de la arena.

Para construir los firmes por este método, estendia en tiempo húmedo una capa de detritus de piedra tierna ó del mortero referido, de unos 2 centímetros próximamente de espesor; sobre esta pasta tierna todavía echaba una capa de 10 centímetros de piedra machacada y limpia de tierra, apisonándola, para que se introdujese por sus huecos el mortero, y sobre esta otras dos capas formadas del mismo modo. Supone que así se obtiene un firme perfectamente unido y resistente, debiendo dejarle secar bien antes de permitir el tránsito.

La proporcion del mortero puede variar segun el tamaño de la piedra que se emplee: su objeto es solo el rellenar los huecos que quedan entre esta. Para averiguar la conveniente, indica que puede hacerse, colocando cierta cantidad de piedra en una caja ó cubo y echando agua; el volúmen de los huecos se determina midiendo el del agua que se ha introducido.

Sistema propuesto por el ingeniero Leon.

El ingeniero Leon al ocuparse (1838) de los diferentes métodos de construccion de los firmes, dice que el sistema de Polonceau podrá dar lugar á cometer abusos al mezclar la piedra y detritus, empleando escesiva cantidad de estos.

Propone para evitarlo el colocar la piedra de inferior calidad solo en la primera capa y en la última ó sea la de la superficie, la piedra mas dura; opina que el método de Polonceau aunque bueno para la construccion de un firme, seria difícil para su conservacion, y que la dureza y limpieza del material puede influir mucho en la

Digitized by Google

bondad de un afirmado. Este ingeniero considera suficiente un espesor total de 25 centímetros.

Sistema de Berthault Ducreux.

Uno de los ingenieros que se han ocupado mas de las cuestiones relativas á la construccion y conservacion de carreteras, ha sido Berthault Ducreux, el cual escribió varias memorias sobre este objeto desde 1828 á 1848.

Este ingeniero crítica en sus obras el sistema de Mac-Adam y apoyándose en ejemplos de carreteras construidas, opina que los firmes pueden ser muy sólidos y muy buenos, aunque sean permeables, pues aun los mejores suelen mantener en su caja una húmedad permanente. Considera como una exageracion el exigir que la piedra esté perfectamente limpia de detritus, porque aun los mejores firmes contienen á veces mayor proporcion de estos que de piedra, cuando ya están trabajados por la circulacion, siendo aun mas perjudicial que útil la igualdad del tamaño de la piedra, al mismo tiempo que es caro el seguir este método; cree que puede emplearse ventajosamente las piedras desde 5 centímetros de lado hasta las mas pequeñas. Contrario á la opinion de Mac-Adam, este ingeniero hace consistir la bondad del firme, mas bien en el esmero y cuidado de su conservacion, que de su construccion. Tampoco considera esencial el elevar la caja del firme sobre el terreno natural. Segun sus esperimentos la relacion de los huecos de la piedra machacada de 4,6 á 5,8 centímetros de lado es á la del volúmen de esta, como 0,48 á 1; y despues de haber trabado bien los materiales, ó lo que suele llamarse en España haber hecho clavo el firme, se reduce á 0,25 del volúmen de la piedra. Respecto á construir la primera capa de piedras mas gruesas, indica Ducreux que las diversas opiniones emitidas sobre este método, están generalmente de acuerdo sobre la inutilidad de verificarlo.

Tampoco cree admisible en todos los casos el espesor del firme establecido por Mac-Adam, pues segun sea la calidad del material, mas bien que por la naturaleza del terreno, se necesita á veces darle mayor espesor, por ejemplo: cuando la frecuentacion escede

Digitized by Google

de 200 caballerías de tiro diarias será conveniente, sobre todo en terrenos flojos, no hacer el firme menos grueso de 15 centímetros y aun en ciertas circunstancias el doble.

Opinion de Dumas.

El ingeniero francés Dumas considera como inútil la fundacion de piedra gruesa y cree suficiente para el firme un espesor de 10 centímetros, sin embargo que en casos especiales puede darse hasta 20 segun las circunstancias, pero sin que nunca deba escederse este espesor pues seria inútil y costoso.

Otros ingenieros han creido tambien lo mas conveniente el empleo de piedra de igual tamaño, y tanto mas pequeña cuanto mas frecuentado sea el firme.

Muntz considera tambien como suficiente en rigor para carreteras poco frecuentadas un espesor de 12 á 18 centímetros, segun la calidad del material.

Carreteras de España.

Sistemas seguidos en la construccion del firme.

Los afirmados de las carreteras de España construidas desde el reinado de Fernando VI (*), estaban compuestos de gruesas piedras, sistema que fué necesario variar á medida que se fueron restaurando en épocas posteriores.

Uno de los ingenieros que empezaron á ocuparse con mas especialidad de la construccion de los afirmados, fué D. Francisco Javier Barra, luego director general de caminos, el cual en 1820 escribió un tratado sobre el objeto indicado; en él esponia los métodos que conceptuaba mas convenientes y que puso en práctica en las carreteras que dirigió en aquella época.

Segun este ingeniero, el firme debia construirse con dos filas de adoquines ó cintas, de que se hablará mas adelante, con el objeto de formar una caja de 23 centímetros de altura. La primera capa

(*) En el reinado de Fernando VI, se construyeron las carreteras de Santander por Reinosa y la de Guadarrama; en el de Cárlos III la del Vierzo, Sierramorena Navarra, Galicia y Valencia.

Digitized by Google

del firme debia constar de piedras gruesas, sentadas á mano sobre su mayor dimension, arreglándose del mejor modo que su figura permitiese. Los huecos que dejan entre sí estas piedras deberian rellenarse con piedra mas pequeña, golpeando con mazas de hierro para encajarla bien y romper las puntas salientes, dejando una superficie plana; esta primera capa tenia 16 centímetros de espesor en toda su anchura. La segunda capa colocada hasta el borde de la cinta con 16 á 18 centímetros en el centro, estaba formada de piedra machacada en caja sobre la primera. La tercera capa estaba tambien formada de piedra machacada en caja, con el objeto de que se macizase mejor todo y los detritus rellenasen los huecos de las capas inferiores; esta tambien debia tener 18 centímetros en el centro, viniendo á terminar en los costados en *cero*.

Para recebo ó cubierta del firme proponia estender una capa de arcilla, de la cual, despues de llenar los huecos, quedase sobre el firme un espesor de 2 á 3 centímetros y sobre esta echaba una de arena de 7 centímetros. En los terrenos de roca suprimia la primera capa del firme.

Se ve que como Telford, Tresaguet y otros ingenieros, daba Barra mucha importancia á la fundacion, considerando los firmes romanos como un sistema que cumplia ciertas condiciones de solidez indispensables; así es, que miraba como una cosa perjudicial el estraer las grandes piedras de los firmes antiguos para partirlas y reformarlos, conforme al método de Mac-Adam, pues en este sistema la humedad penetra en el terreno y le ablanda.

Tampoco creia conveniente el dar curvatura á la solera de la caja, porque así presenta el firme menos resistencia en esta parte que es donde mas la necesita, por pasar los carruajes con frecuencia por ella y ademas porque adoptando esta forma, sucederia que las piedras de la primera capa resbalarian sobre un plano inclinado por la accion de los carruajes, cuando desapareciesen las capas superiores. Esto supone un firme abandonado ó en el cual se hagan las reparaciones con grandes intervalos de tiempo, como se verificaba generalmente en aquella época, pues de lo con-

Digitized by Google

trario no debiera quedar jamás al descubierto la primera capa.

Sistema seguido en la carretera de las Cabrillas cuando se empezó su construccion.

Cuando se empezó á construir la carretera de las Cabrillas, su director, D. José Cortines, adoptó un sistema misto, empleando en la primera capa un método análogo al indicado antes y para las capas superiores el sistema de Mac-Adam.

Sistemas adoptados mas recientemente.

En las carreteras construidas en España de unos 20 años á esta parte, se han suprimido las filas de maestras por su mucho coste y poca utilidad. Para la composicion del afirmado se han seguido dos métodos, uno el de Mac-Adam y otro, que es el mas general, el de formarle de tres capas de piedra de distinto tamaño; la primera capa de unos 20 centímetros de espesor, compuesta de piedra de 7 á 8 centímetros de lado, partida en la caja; la segunda capa de 15 á 16 centímetros de espesor, y las piedras de que está formada de unos 5 á 6 centímetros de lado; y la tercera capa del mismo grueso que la segunda en el centro del firme, viniendo á terminar en 0 al borde de la caja; la piedra de estas dos últimas capas se parte generalmente fuera del firme; el tamaño de la piedra de esta última capa suele ser algo mas pequeño que el de la anterior; sobre las capas se estiende generalmente el recebo, suprimiéndole en algunas circunstancias segun sea la calidad de la piedra (*).

Exámen de los diferentes sistemas de afirmados y reglas generales para su construccion.

Examinando las diferentes opiniones emitidas por los ingenieras sobre la construccion de los firmes llamados ordinarios (para distinguirlos de los *empedrados*), se advierte divergencia en varios puntos y no es de estrañar la haya en algunos casos por las diferentes circunstancias en que pueden encontrarse las carreterras relativamente al clima, calidad de los materiales, tránsito etc.; pero

(*) En el lugar correspondiente se trata del recebo, analizando su objeto, calidad, etc.

Digitized by Google

sí lo es el que haya á veces tan notables diferencias de opinion tratándose de circunstancias casi idénticas; esto prueba que las cuestiones de que se trata son difíciles de resolver y exigen numerosas esperiencias.

Procuraremos deducir las reglas que podrán seguirse para la construccion del firme, hasta que nuevas observaciones den á conocer con mayor exactitud los métodos convenientes de verificarlo.

Grueso del firme.

Para satisfacer á las condiciones de economía y sólidez, el grueso del firme debe ser suficiente solo para resistir á la circulacion, pues si escede de este límite habrá un gasto inútil de material, gasto que en algunas ocasiones es muy considerable por el precio elevado de la piedra.

La determinacion do este grueso es muy difícil en razon á la variedad de circunstancias que pueden influir: así es que esta cuestion no está resuelta todavía. Segun se ha visto anteriormente, Mac-Adam cree suficiente un grueso de 23 centímetros en firmes muy frecuentados, 13 en los de mediana frecuentacion y solamente 11 en los de poco tránsito. Telford, por el contrario opina que deben tener 33 á 40 centímetros. El ingeniero Dupuit, por los resultados de sus observaciones, deduce ser suficiente en rigor un grueso de 9 centímetros en firmes bien construidos. Muntz supone que lo es el de 11 centímetros, cuando se construye el firme de piedra caliza y en carreteras poco frecuentadas, y de 13 en el caso de ser cuarzo. Jirard asigna 28 centímetros. Bourgoyne, director general que era en 1847 de los caminos de Irlanda, fija como límite inferior un grueso de 7 á 9 centímetros y 20 para el máximo. El ingeniero Leon adopta el grueso de 24 centímetros; Bonamy creia suficiente, estando bien construido el firme, 18 centímetros, pudiendo dejarse desgastar hasta que tuviese 9 centímetros, y Bardonamant asigna hasta 37 centímetros. La resistencia varia del mismo modo con el clima, siendo en tiempo seco mayor que en el húmedo. Segun Courtois, si el suelo de la caja estuviese siempre seco, podria reducirse el espesor del firme á 12 centímetros; pero debiendo resistir

Digitized by Google

como un cimiento habrá veces que exija hasta 37 ó mas; opina que no pueden establecerse reglas fijas por depender tambien el grueso de la naturaleza del suelo, estaciones, calidad del material, sus dimensiones y modo de emplearse etc.; la observacion, dice Courtois, es la sola que debe guiar; sin embargo de que nunca deberán adoptarse en su opinion gruesos exagerados.

El afirmado no solo sirve de cubierta al suelo natural para preservarle de la humedad, sino de cimiento ó bóveda, sobre la cual ruedan los carruajes, á cuyas presiones debe resistir.

La conservacion esmerada y constante podrá economizar espesor, y vale mas gastar en ella el esceso de piedra que habria de emplearse en la construccion: de este modo se obtendrá siempre el firme en buen estado de viabilidad al paso que sin la conservacion contínua, aunque se emplee material con esceso, el firme se pondrá intransitable.

Aunque no debe adoptarse el límite inferior para el grueso de un firme, no siempre se tienen recursos suficientes para dar el espesor máximo que debe tener; sin embargo hemos tenido que conservar carreteras de firmes compuestas de piedras calizas con los espesores de 9 á 10 centímetros y resistian á la circulacion mas activa de carretas con cargas de 700 á 1000 kilógramos cada una.

El grueso adoptado en la actualidad en las carreteras que se construyen en España, es en general de 23 centímetros en el borde de la caja y de 28 á 35 en el centro.

Tamaño de la piedra.

Se ha visto la importancia que han dado algunos á la colocacion de un cimiento de piedra gruesa que sirva de asiento á las demas. La igualdad de grueso de la piedra creen algunos que es esencial para obtener un firme, y otros que es desventajoso é inútil y sobre todo poco económico.

La construccion de la primera capa de piedras gruesas colocadas á mano es sistema costoso, sin producir resultados que justifiquen el esceso de gasto. El exigir la piedra de igual tamaño, es tambien un esceso de escrupulosidad, cuyos efectos viene á destruir

Digitized by Google

la circulacion misma. El objeto que se debe tratar de obtener es la buena trabazon del material, y que la piedra de la capa superior sea de un tamaño tal que no presente desigualdades ó partes salientes, en las que chocando las ruedas de los carruajes desarreglen el firme; esto se consigue en lo posible, poniendo la piedra mas pequeña en la capa superior, y de un tamaño de unos 20 centímetros de lado.

La trabazon de los materiales se consigue tambien en lo posible empleando piedra machacada en todas las capas del firme. La compresion que se ejerce por la circulacion y mejor por el cilindrado, hacen que el todo forme un cuerpo sólido y resistente, y al mismo tiempo quede lo mas liso que sea posible, para que no haya partes salientes perjudiciales al tránsito y á la espedita salida de las aguas del firme.

El tamaño de 7 centímetros que se admite para el lado ó arista de la piedra de primera capa, 4 ½ á 5 ½ para la segunda capa y 2 á 4 para la tercera, concilia hasta cierto punto las condiciones exigidas; sin embargo de que hay necesidad á veces de emplear materiales tiernos y no es posible obtener con ellos un tamaño tan pequeño, sin reducirse á polvo una gran parte. Por esto debe en cada caso hacerse esperimentos ú observaciones para conseguir los mejores resultados, segun la cantidad de materiales de que se disponga y el clima en que se empleen, sin que puedan darse reglas absolutas para todas las carreteras y circunstancias diversas.

Machaqueo ó partido en caja ó fuera de ella.

El modo de construir el afirmado tambien está sujeto á controversias, opinando algunos como Mac-Adam, que es el mas exagerado en este punto, el que toda la piedra debe machacarse fuera del firme; otros opinan que se debe hacer en la caja misma, ó sea á corte abierto; ambos métodos tienen sus ventajas é inconvenientes, el primero es mas costoso y no se aprovechan tan bien los detritus de la piedra para trabar el firme; el segundo método es mas espedito, pero la piedra no queda tambien machacada. El salir mas cara la obra machacando la piedra fuera del firme, consiste en que es mas lenta esta operacion y tambien porque hay que hacer la pri-

Digitized by Google

mera conduccion para dejarla en los depósitos próximos á la caja, y luego la operacion de colocarla en esta.

A veces suele traerse la piedra ya machacada en la cantera, lo cual tiene la ventaja de que no se embaraza el camino por los operarios que la parten, pero no se aprovechan los detritus ni puede ejercerse la vigilancia debida para que tenga la piedra las condiciones exigidas, si se hace por contrata; dando lugar su recepcion á mas cuestiones que en el primer caso. Una circunstancia que debe tenerse muy presente al construir el afirmado, es no echar la piedra en caja cuando á consecuencia de lluvias fuertes contínuas está muy reblandecida la tierra, particularmente cuando se machaca la primera capa á corte abierto, pues se hunde y desperdicia mucho material: la misma observacion es aplicable á los terraplenes flojos que no han hecho buen asiento.

Calidad de la piedra, su influencia en las cualidades del firme.

La calidad de la piedra que se emplee en el afirmado ejerce una gran influencia en la solidez, duracion y conservacion de este; sin embargo que tambien se ha visto haber divergencias de opiniones respecto de la influencia de esta calidad. Mac-Adam no da tanta importancia á la calidad de la piedra como á su tamaño y *esmero* en la construccion del firme; lo contrario sucede á Telford, el cual solo admite como conveniente la piedra dura. Polonceau prescribe la mezcla de materiales de tamaño y dureza distinta, sirviendo los mas tiernos y pequeños como de mortero para llenar los huecos de los otros. Esta consideracion condujo tambien á Jirard á un sistema análogo, averiguando el volúmen de los huecos relativamente al tamaño de la piedra, con el objeto de emplear los detritus necesarios para rellenar aquellos.

Muntz y otros, hacen depender principalmente el buen éxito de un firme de la calidad del material; Berthault Ducreux no considera la calidad como circunstancia esencial, sin embargo de dar la preferencia á la piedra caliza sobre la silícea; la mezcla de los materiales duros y tiernos es en su concepto un sistema que debe producir firmes de resistencia desigual.

Digitized by Google

El ingeniero Vignon examina lo que debe entenderse por piedra dura, observando que no debe confundirse la dureza ó resistencia á la presion con la qne puede oponer á los choques, y cree que no siempre aquella es esencial. En su opinion las calizas son preferibles á las piedras silíceas y dice haber obtenido los mejores resultados con firmes compuestos de piedras duras y tiernas; tampoco cree conveniente en muchas circunstancias la precaucion de colocar la última capa de la piedra mas dura.

La opinion de que las piedras duras mezcladas con las tiernas es la que produce mejores firmes, ha sido admitida por varios ingenieros y entre ellos Buhot cree conveniente mezclar las piedras calizas con las silíceas, dando los mejores resultados la proporcion de la mitad de volúmen.

Correzes y Manes clasifican los materiales para el firme poniendo en primer lugar las piedras silíceas, luego las feldspáticas, las anfibólicas y en último lugar las calizas.

Courtois cree que varia poco la resistencia del firme con la naturaleza y dimensiones del material; la circulacion produce rozamientos, presiones y choques, y las piedras que resistan mejor á estos efectos deben ser las mejores, sin embargo que suele suceder que la escesiva dureza produce firmes muy rígidos para la circulacion, presentando ademas esta clase de materiales el inconveniente de ser mas difíciles de enlazar ó trabar.

En general los materiales deben tener bastante dureza para resistir á las presiones que han de sufrir, á los rozamientos y á las influencias atmosféricas, y formar al mismo tiempo la union conveniente; pero estas circunstancias no se hallan reunidas en una misma clase de piedra; pues los materiales duros producen detritus que no hacen trabar el firme, resultando así movedizo y por consiguiente menos resistente que si fuera una masa compacta: por esto el sistema de mezclar ó recebar los materiales duros, como el cuarzo, con otros mas tiernos, como la caliza, ha producido en general buenos resultados.

Los firmes que contienen solo la cantidad de detritus necesaria

Digitized by Google

para rellenar los huecos, están en las circunstancias mas favorables de resistencia formando un todo compacto. Por las observaciones hechas en los firmes se ha visto que á un metro cúbico de piedra corresponde próximamente 0,46 metros de detritus.

Se puede admitir en general que deben emplearse materiales tanto mas duros y resistentes, cuanto mayor sea la circulacion de cargas pesadas por una carretera, y al mismo tiempo unirlos por medio de materiales mas tiernos y de pequeño tamaño, con las condiciones que se indicarán al tratar de los recebos.

Exámen de diferentes clases de piedras.

Para poder proceder con acierto en la eleccion del material para el firme, teniendo presentes las condiciones espuestas anteriormente á que debe satisfacer, examinaremos las principales clases de piedra que en España suelen emplearse en el afirmado de las carreteras, dando algunas nociones sobre sus cualidades mecánicas y físicas.

Piedras calizas: sus clases: modo de reconocerlas: sus ventajas é inconvenientes para afirmados.

Las rocas calizas son muy abundantes en algunas provincias de España, y se emplean en el afirmado de la mayor parte de las carreteras de las Provincias vascongadas, en la de Santander, Asturias y Galicia.

Las calizas son rocas compuestas de cal carbonatada, bien sea esta pura ó con mezclas accidentales. En el primer caso forma las llamadas calizas *sacaróideas* y compactas; cuando contiene mezclas accidentales, son las mas comunes la arcilla ó el *carbonato de magnesia* en proporciones variables, formando las calizas magnesianas en general, ó en proporcion definida de partes iguales, formando entonces las llamadas *dolomias*. Tambien el carbonato de hierro suele ser una de las mezclas accidentales de las calizas.

Las calizas sacaróideas son de grano fino ó grueso, pero cristalino análogo al formado por el azúcar clarificado; se distinguen por su blancura y constituyen un hermoso mármol. Hay algunas calizas compuestas de láminas, á veces bastante numerosas para hacer creer que son sacaróideas, pero estas son debidas á la presencia

Digitized by Google

de fósiles reducidos á espato calizo; esta variedad recibe el nombre de *caliza espática* ó *sublaminar*. Las dos clases de calizas mencionadas tienen en general bastante resistencia para ser empleadas en los afirmados de carreteras.

La variedad de caliza llamada *conchífera* por la abundancia de conchas que contiene convertidas en espato, presenta generalmente resistencia bastante para emplearse en afirmados; su color es generalmente gris claro.

Las calizas arcillosas son mas ó menos á propósito para el firme segun la cantidad de arcilla que contengan; cuando esta no pasa de un 30 por 100 del peso de la caliza, puede en la mayor parte de los casos emplearse en el firme; su color es con frecuencia amarillento ó pardo claro azulado. Cuando la cantidad de arcilla es considerable, la roca se deshace fácilmente por la humedad y hace muy mal firme, produciendo mucho lodo y siendo sumamente costosa su conservacion. Sus colores son generalmente oscuros en estos casos y su estructura pizarrosa muy abundante.

Las calizas *grifíticas* están penetradas en todos sentidos por filones espáticos, contienen marga y muchos fósiles y á veces tambien arcilla; generalmente son de un color gris azulado, las hay tambien de color claro. Los filones indicados hacen que se hiendan fácilmente por la accion de los carruajes.

Las calizas *oolíticas*, llamadas así por estar compuestas de granos redondos semejantes á huevos de pescado y de restos de cuerpos orgánicos, son generalmente buenas para el firme.

Las dolomías citadas anteriormente se componen de pequeños cristales de forma romboédrica agrupados entre sí, dejando pequeños intervalos; á veces los granos son muy pequeños y en este caso la roca es granuda y semejante á una arenisca, pero el brillo anacarado que presenta, da á conocer su naturaleza. Su color es amarillento claro y á veces de un blanco bastante claro tambien. Esta roca suele desgranarse y convertirse en arena, por lo que no es á propósito para el firme.

En el mismo caso que las calizas muy arcillosas están las *car-*

Digitized by Google

boníferas, pues se deshacen fácilmente cuando se emplean en afirmados; sus colores son oscuros.

Las calizas *silíceas* son las que mejor satisfacen, generalmente, para producir un buen afirmado; esta clase es abundante en algunos puntos de España, como sucede en la cordillera del Guadarrama y Somosierra, conocida en Madrid con el nombre de *caliza* de Colmenar; es dura y al mismo tiempo hace *clavo* con facilidad.

En general, todas las calizas compactas y duras son convenientes para el afirmado. Estas rocas se desgastan mas que otras clases por el rozamiento de las ruedas y accion de las caballerías y del tránsito en general; pero traban pronto sin necesidad de recebo en muchos casos y el detritus que se forma de ellas es suficiente para unir las piedras entre sí; el piso es cómodo para la circulacion y la conservacion se hace con mas facilidad. Tienen, sin embargo, el inconveniente de producir polvo con esceso en algunos casos y ser cara su conservacion en razon al escesivo desgaste que se produce.

Las calizas muy tiernas no se emplean para afirmados y en este caso se hallan las *cretas* y *margas calizas* formadas de cal y arcilla que son muy desmoronadizas: pero son convenientes para recebo.

Los mármoles son piedras calizas, que por su dureza y *grano* compacto admiten pulimento y cuyas mezclas accidentales en muchos casos producen las vetas y dibujos que por el pulimento destacan perfectamente. Los *mármoles* se confunden por algunos con los *jaspes* que pertenecen á las rocas silíceas.

Las rocas calizas son fáciles de distinguir de las demas clases, pues se dejan rayar con una punta de acero y hacen efervescencia con los ácidos. Para ver si es caliza una piedra no hay mas, por consiguiente, que verter sobre ella unas gotas de ácido nítrico (agua fuerte) ó cualquiera otro como el sulfúrico (aceite de vitriolo), etc., y ver si se produce efervescencia en cuyo caso será caliza. Algunas veces suele ser tardío este efecto ó notarse muy poco, como sucede cuando las calizas están muy cargadas de arcilla.

Se vé por lo que antecede la variedad que puede obtenerse en la constitucion de un firme, segun sea la clase de caliza que se em-

Digitized by Google

plee en su construccion y por esto es muy vago el decir que la caliza es *buena* ó *mala* para este efecto.

Granitos: clases: su empleo en afirmados

Los *granitos* contienen en general tres elementos principales en su composicion que son, el cuarzo, el feldspato y la mica. El primero se distingue por su dureza, la cual hace que dé chispas con el eslabon; el segundo por su color generalmente rosáceo y brillo nacarado, se deja rayar con el hierro, y la tercera por las hojas que forma mas ó menos grandes, de aspecto plateado ú oscuro pero lustroso. Esta clase de roca es conocida por el nombre de piedra *berroqueña*.

Hay muchas variedades de granitos segun domine uno ú otro de los elementos citados ó contenga otros. Las principales son el granito *gráfico* ó *pegmatita*, compuesto de feldspato y cuarzo cristalizados, dispuestos de modo que presentan el aspecto de caracteres hebreos.

El granito pizarroso ó *gneis* está compuesto de feldspato laminar y mica pizarrosa formando capas; contiene ademas granito, titano, silex, etc.

Segun sea dominante alguno de los elementos citados, así será el granito mas ó menos á propósito para el afirmado. Cuando la mica es abundante y muy *desagregada* de la masa, se hiende con facilidad por la presion de los carruajes; cuando domina el feldspato, se descompone este por las acciones atmosféricas; si el cuarzo es abundante y compacto, la roca es muy resistente. El granito tiene el inconveniente de ser una roca de composicion heterogénea, formada por la agregacion mecánica de los elementos indicados.

Rocas micáceas, feldspáticas, anfibólicas y cuarzosas.

Cuando desaparece alguno de los elementos citados, que constituyen el granito propiamente dicho, se forman distintas variedades de rocas. El *protoxino* está compuesto de feldspato laminar, talco y cuarzo y está en el mismo caso que el granito, segun abunde uno ú otro elemento constituyente. La *micacita* está formada de cuarzo y mica en gran abundancia, lo cual hace que no sea á propósito para

Digitized by Google

afirmados; esta pasa á constituir el *gneis* cuando contiene feldspato como antes se indicó. Ademas suele contener granate, anfibol ó turmalina y á veces acompaña á los minerales de estaño formando la roca llamada *greissen*.

El feldspato forma por sí rocas; se distinguen, el feldspato compacto con los nombres de *petro silex* ó *eurita*; el feldspato terroso ó eurita terrosa, que forma la *tierra* de porcelana ó *kaolin*; el feldspato resinoso ó resinite que presenta un lustre resinoso y una testura quebradiza, y como apéndice pueden reunirse á estas las *obsidianas* y *feldspatos vítreos*. El feldspato compacto *porfírico* se compone de una pasta feldspática y de cristales de feldspato y á veces mezclado con anfibol, formando en este caso pórfidos verdosos ó rojizos cuando el feldspato es puro. El feldspato *compacto glanduloso* contiene núcleos redondeados ó radiados que son tambien de feldspato. El feldspato compacto *brechtforme*, es un pórfido de nódulos angulares, estando compuesta la roca de feldspato laminar y anfibol laminar, etc.

Algunas de estas rocas feldspáticas pueden tener aplicacion á los firmes como sucede con las compuestas de feldspato compacto y anfibol. El feldspato se deja rayar por el cuarzo y por el acero y raya al vidrio; presenta un brillo generalmente anacarado y un color rosáceo, sin embargo que á veces es verdoso. El feldspato está compuesto de sílice ó alúmina, potasa y sosa; no hace efervescencia con los ácidos.

El anfibol comprende generalmente tres variedades, que son el calizo ferruginoso ó *actinota*, el calizo magnesiano ó *tremolita* y el negro ú *hornablenda*. El primero presenta un color verde; contiene cal, sílice y hierro; el segundo plateado y á veces verdoso, contiene sílice, cal y magnesia; la hornablenda es de color negro y contiene alúmina y hierro.

El cuarzo puede ser puro ó contener mezclas de otras sustancias. Se distinguen diversas variedades como el *hyalino* ó cristalizado; el cuarzo *compacto*, que es débilmente trasluciente, sin brillo en la fractura; el cuarzo *lidio* ó piedra de *toque*, de fractura

Digitized by Google

mate ó unida y atravesado por filones blancos; á veces es pizarroso, su color negro. Sirve esta variedad para examinar ó *tocar* las monedas y ver si se borra la señal que hacen en la piedra por un ácido, por lo cual recibe el nombre de piedra de toque.

El cuarzo *ágata* forma veteados y dibujos; el *silex* ó *pedernal* comprende todos los cuarzos que tienen un aspecto de concrecion; su fractura es conchífera, trasluciente en los bordes; su color amarillento gris.

Hay otras variedades como el cuarzo resinite y el jaspe. Se ha indicado ya al hablar de los granitos que el cuarzo da chispas con el eslabon, propiedad que sirve para distinguirle, y ademas no se deja rayar por el acero ni hace efervescencia con los ácidos.

Las rocas cuarzosas son convenientes en general para afirmados por su gran resistencia; pero es difícil que traben exigiendo por esta causa mayores cuidados de conservacion hasta conseguir este objeto; su desgaste es menor que con las piedras calizas, y por consiguiente son mas duraderos los afirmados construidos con aquellas.

Ademas de lo indicado respecto de la mica, añadiremos que esta se distingue generalmente por su forma laminar ú hojosa, su lustre metálico y á veces trasparencia; las hojas son elásticas y se deja rayar por el hierro con facilidad; no hace efervescencia con los ácidos.

Areniscas: sus variedades: sus propiedades para afirmados.

Las areniscas son tambien rocas muy abundantes, están compuestas de la reunion de fragmentos ó granos de cuarzo unidos por un cemento silíceo, calizo ó arcilloso. Su dureza es muy variable, pues las hay muy resistentes y otras son deleznables. Las variedades principales de las areniscas son las siguientes:

La *arenisca roja*, de cemento margoso, teñida por el óxido rojo de hierro; contiene con frecuencia guijarros de cuarzo lidio.

La *arenisca verde*, llamada así por contener gran cantidad de puntos verdes de silicato de hierro; los granos cuarzosos están unidos por cemento calizo ó margoso.

La arenisca *abigarrada*, compuesta de nódulos bastante grandes

Digitized by Google

de cuarzo unidos por un cemento arenoso y ferruginoso; su color comunmente es rojo y á veces verde; es bastante consistente.

Las *areniscas carboníferas*, contienen fragmentos de granito muy cargado de mica.

La *grawaka* es una roca compuesta de fragmentos de granito ó de pórfido, de cuarzo, etc., unidos por un cemento de pizarra arcillosa, de micacita ó feldspato; algunas veces los nódulos ó granos escasean mucho y la roca toma una estructura pizarrosa.

Las *brechas* son rocas compuestas de fragmentos angulares unidos por un cemento, pero cuyo grueso es bastante considerable para distinguirlos del pequeño grano de las areniscas propiamente dichas; reciben el nombre de *pudingas* cuando los fragmentos son redondeados.

Las areniscas no son en general muy convenientes para los firmes de piedra partida, porque traban difícilmente y resisten poco á las presiones, en particular cuando son muy arcillosas, en cuyo caso deben proscribirse completamente aunque sea teniendo que traerse de gran distancia la piedra, pues producen firmes que se ponen intransitables en la estacion de las lluvias, no bastando para evitarlo los cuidados mas asíduos de conservacion.

Pórfidos y basaltos.

Los *basaltos*, el *trapp* y los *pórfidos*, se clasifican entre las rocas *piroxénicas*; el primero es muy compacto y se distingue por su forma prismática y colores oscuros; el segundo es de un negro verdoso muy intenso; los *pórfidos* están compuestos de piroxena y feldspato cristalizados, cuyo grano es fino ó grueso.

El anfibol, que entra como composicion de las rocas anteriores (las que se encuentran en los terrenos volcánicos), está compuesto de sílice, cal y magnesia; á veces de oxídulo de hierro y manganeso, formando variedades de colores diferentes dominando siempre el verde mas ó menos oscuro; su dureza hace que raye el vidrio.

El trapp y el basalto son poco á propósito para afirmados, pues no traban con facilidad sus fragmentos y hacen un firme movedizo y duro. Los pórfidos no suelen tener esta propiedad tan en alto gra-

Digitized by Google

do, sin embargo que tambien son muy difíciles de unir; ademas es difícil y caro partir estas piedras por la escesiva dureza que presentan: estas rocas no son frecuentes en la Península.

No nos ocuparemos de otras clases de rocas poco abundantes, ni de las que como las arcillosas y las yesosas no tienen aplicacion á los afirmados por su poca resistencia; pasaremos á examinar las influencias que pueden tener en las piedras los agentes atmosféricos y algunas de sus propiedades mecánicas y físicas.

Piedras heladizas.

Cualquiera que sea la clase de piedras si es heladiza, no conviene para ser empleada en los afirmados, particularmente, en provincias del Norte. Esta circunstancia proviene de que introduciéndose el agua en los poros de la piedra, al helarse se cristaliza, aumenta de volúmen y hace hendir la piedra y saltar en pedazos. A veces piedras que son heladizas en la cantera, evaporada el agua de esta, despues de esplotadas no presentan ya dicha propiedad, porque al evaporarse, las materias que el agua interior contenia en disolucion, se han endurecido.

Segun Vicat no siempre las piedras de grano fino y cerrado son menos heladizas que las porosas y permeables, pues en estas obran los esfuerzos aisladamente en cada poro y se debilita su efecto por verificarse una trasudacion que empieza á efectuarse cuando el agua tiene todavía fluidez; en las piedras compactas en que no puede efectuarse libremente esta trasudacion, se esfolian las superficies, deshaciéndose en pedazos pequeños ó en polvo.

Modo de hacer los esperimentos para ver si es heladiza una piedra.

Para averiguar si una piedra es heladiza se toman fragmentos de diversos puntos de la roca, y se labran formando cubos cuyas aristas estén bien cortadas y de unos 5 centímetros de lado, se disuelve en agua sulfato de sosa hasta que se sature esta, bastando para 0,7 litros un kilógramo de dicha sal, estando el agua á 12° Reamur. En seguida se hace cocer hasta hervir y sin retirarla del fuego, se sumergen los cubos, dejándoles cocer media hora, despues se retiran, para lo cual se suspenden de un hilo y se cuelgan aisla-

Digitized by Google

damente, poniendo debajo un vaso lleno de la disolucion referida. Cuando se cubre el cubo de agujas blancas salinas, se sumerge en el vaso para que las suelte, se saca y se procede á la misma operacion á medida que se formen, terminándose la prueba á los cinco dias, en los cuales si no hay eflorescencias salinas, la piedra no es heladiza. Se pesan las piedras despues de la prueba estando bien secas y se compara este peso con el que tenian antes.

El verificar el esperimento haciendo la saturacion de la sal en frio, es mas conveniente, porque las piedras suelen resistir al hielo y saturacion en frio, y no á la verificada en caliente: y lo mismo se verifica si se prolonga á mas de cinco dias la saturacion.

Absorcion de las piedras y permeabilidad.

Para esperimentar si las piedras son absorbentes y en qué grado, se empieza por pesarlas y se introducen en un depósito de agua; al cabo de dos dias se sacan y se pesan, se vuelven á sumergir y se observa si continúan empapándose, en cuyo caso se dejan mas tiempo hasta que se verifique la saturacion. Segun esperimentos de Vandoyer resulta para la facultad absorbente de varios materiales lo siguiente:

El mármol absorbe.	0,0032 de su volúmen.
La caliza grifítica ó liais. . .	0,06 á 0,09
El granito.	0,0060
El yeso basto.	0,37
El yeso fino..	0,39

La propiedad de las piedras relativamente á la *absorcion* es diferente de la que se espresa por el nombre de *permeabilidad*; una piedra puede muy bien absorber el agua hasta saturarse y sin embargo no darla paso, y al contrario no absorber ó tener poca afinidad para el agua, y dejarla pasar á través de sus poros, como sucede con las piedras areniscas, de las que se hacen filtros.

Digitized by Google

Resistencias

Las piedras pueden ser duras y sin embargo resistir poco á las presiones. Se entiende por dureza la resistencia al rozamiento, la cual se prueba por el efecto que produce en la piedra una hoja de acero sin dientes rozando su filo en ella, y empleando agua y arena para la operacion. El tiempo tardado sirve para comparar la resistencia al rozamiento.

Segun los esperimentos de Rondelet el peso específico, la fuerza, dureza y testura mas ó menos compacta, son propiedades que parece se deducen unas de otras: así en las piedras de la misma especie las mas pesadas son en general las mas fuertes, y las que tienen el grano mas fino y la testura mas compacta, son las mas duras; las piedras mas oscuras son en general mas fuertes y pesadas que las de colores claros; las de grano homogéneo y testura uniforme, mas fuertes que las de grano mezclado.

La resistencia al rozamiento es tanto mayor, cuanto el grano de la piedra es mas fino, su testura mas uniforme, su color mas oscuro, el sonido mas claro y mayor su peso; la resistencia espresada no es siempre proporcional á la resistencia á las presiones, así es que el granito duro resiste al rozamiento unas doce veces mas que el *Liais* y no resiste á una presion tres veces mayor.

Las piedras empiezan á henderse y saltar generalmente bajo un tercio de la carga de aplastamiento; segun algunos esperimentos y tomando el resultado entre varios verificados con el granito, el peso que le aplasta por centímetro cuadrado varía de 44 á 65 kilógramos. De otros esperimentos hechos con piedras calizas se deduce que el peso que las rompe por presion, es de 25 á 78 kilógramos por centímetro cuadrado; en las mismas la fuerza de cohesion ha resultado de 8,2 á 60 kilógramos por centímetro cuadrado; lo cual prueba las grandes variedades que hay de esta clase de rocas.

Pendiente transversal del firme y modo de fijarla en la práctica.

El objeto de la convexidad que se da á la superficie del firme la que vulgarmente se llama *bombeo*, *bombao* ó *alomado* es el de hacer que las aguas corran á las cunetas con facilidad; si fuese escesivo este bombeo, los carruajes se inclinarian demasiado á los cos-

Digitized by Google

tados, el tiro seria mas penoso, y habria esposicion á vuelcos.

En general puede admitirse como suficiente una flecha de $^1/_{50}$ del ancho total ó $ab = \frac{1}{50} cd$ (Fig. 91).

En muchos caminos de España se adoptó $^1/_{30}$ á $^1/_{35}$ y aun $^1/_{25}$ de flecha para que cuando haga asiento el firme quede con la pendiente necesaria.

Para dejar de esta forma el firme, se procede en la práctica fijando estaquillas en el centro de la caja y puntos intermedios que tengan la altura que debe quedar, ó por medio de cerchas de madera, en las cuales está trazado el arco de círculo que se adopte. Los arregladores van estendiendo la piedra, bien sea con el azadon, ó tambien, y es mejor, con el rastrillo, hasta que adaptando la plantilla perpendicularmente al eje, resulte de su forma la parte superior del firme. En el sentido longitudinal, se fijan las alturas del firme por cuerdas que se atirantan de estaquilla á estaquilla ó por medio de reglones.

Cuando la caja tiene tambien bombeo se le da la montea del centro atirantando una cuerda desde los bordes de la caja, y tomando la altura central de la dimension que se adopte.

Recebo.

Se da generalmente el nombre de *recebo* al material menudo con el cual se cubre la piedra del firme, y á la operacion de echarle se llama *recebar*.

El objeto del *recebo* es llenar los huecos que dejan entre sí las piedras de la capa superior del firme, formando un cemento que las une y hace la superficie mas compacta, sólida y suave para el tránsito.

Si en la construccion del firme se emplean piedras silíceas que tardan mucho en formar detritus y trabar, es cuando mas se necesita emplear el recebo conveniente. Con las piedras que por su naturaleza traban pronto ó forman *clavo*, como sucede con las calizas, las cuales se desgastan fácilmente por el tránsito y sus mismos detri-

Digitized by Google

tus forman el *recebo* conveniente, no hay necesidad de emplearle cuando se construye el firme.

El esceso de recebo produce polvo y lodo que perjudica á la circulacion; así solo debe emplearse el necesario para los objetos indicados antes, sin que forme mas que una pequeña costra, como se dirá al hablar del cilindrado, lo cual se designa en la práctica diciendo *recebar* á *tapa canto*. Cuando se emplea mucho recebo sucede que al formarse los baches y rodadas se introduce y mezcla con la piedra del firme y produce un esceso de cemento, que hace muy difícil y costosa la conservacion.

Arena.

La arena silícea es el recebo que mas comunmente se emplea, pero no todas las arenas convienen igualmente para este objeto. Las de rio muy lavadas y redondeadas no traban bien y forman firmes mas movedizos. La arena de mina suele ser la mejor cuando está mezclada con cierta parte de arcilla. Analizada la arena arcillosa con la que se obtienen mejores efectos, ha resultado que contiene 16 por 100 de arcilla próximamente. Se reconoce la arena arcillosa porque apretada con la mano se apegota y forma migä. La arcilla pura forma mucho lodo, del mismo modo que la tierra vegetal.

Los detritus de calizas producen muy buen recebo. Los de granitos, areniscas y materiales silíceos, solo suelen producir buen resultado cuando la humedad subsiste en el firme, como sucede en las carreteras trazadas en montaña y valles de las provincias del Norte.

Recebos bituminosos.

Los recebos bituminosos ó asfálticos ensayados por M. Coulaine, presentan una cohesion y elasticidad qne les hace muy á propósito para el objeto.

Digitized by Google

Costo de mano de obra y materiales de un firme de piedra partida.

El costo del afirmado está compuesto del valor del material en disposicion de echarse en el firme, y de la mano de obra para la construccion de este.

Subdivision del costo.

El costo de la piedra se subdivide en el de la saca de cantera, de su conduccion y del machaqueo ó partido.

La saca se subdivide á la vez en el costo de mano de obra para la estraccion del material, el de herramientas y el de las indemnizaciones de daños y perjuicios ó propiedad de la cantera.

A los gastos de conduccion hay que añadir los de carga de la cantera y descarga en el sitio en que ha de emplearse la piedra, y ademas los gastos de recepcion del material.

El machaqueo ó partido de la piedra, está compuesto del costo de mano de obra y del de las herramientas.

La construccion del firme se subdivide en la mano de obra para echar la piedra y el de arreglarla en la forma que debe tener.

Saca y conduccion.

Segun la calidad de la piedra y disposicion de la cantera, así será mayor ó menor el costo de la saca, pues podrá ser piedra que con el zapapico ó azada pueda desmontarse, ó habrá que emplear el barreno y la pólvora y entonces es mas cara la estraccion. En cada caso, cuando quieran fijarse los precios, deben hacerse esperimentos.

Los materiales para el firme suelen estar á veces esparcidos por las tierras inmediatas al camino, y en este caso se conducen esporteándolos ó en carretillas. Es necesario tener presente que las direcciones que sigan los que conducen el material no se crucen, porque de este modo se alarga la distancia y por consiguiente se aumenta el gasto de trasporte.

Digitized by Google

Cálculo de la distancia media.

Cuando las canteras estén en puntos aislados y pueda transitarse sin obstáculos hasta el sitio de descarga, debe seguirse la direccion mas corta posible; pero no siempre sucede esto. En general la distancia media es la que sirve para valuar el precio de trasporte, y para hallarla se procede por los métodos que vamos á esponer.

Sea *d b* (Fig. 92ª) la parte de camino en que se han colocado los materiales, *c* la cantera y *ce* el camino que tiene que seguirse para llegar á la carretera; la distancia media desde *c* á *b*, por ejemplo, está compuesta de la mitad de *c e*, que se llamará *d*, y de la mitad de la distancia desde el punto *e* en donde empalma el camino de la cantera con la carretera, al punto *b* en donde se supone ha de colocarse la piedra: si *a* es otro punto en donde se quiera tambien echar piedra, se tendrá del mismo modo que la distancia media desde *c* será la suma de las distancias medias de *c* á *e* y de *e* á *a*.

Si la piedra se distribuye uniformemente á lo largo de la carretera, los cubos de material serán proporcionales á las distancias desde *a* á *e* y de *e* á *b*; las distancias medias parciales serán:

$$a\,e\,(d+\frac{ae}{2})\text{ y }b\,e\,(d+\frac{be}{2})$$

y la distancia media total será:

$$\frac{a\,e\,(d+\frac{ae}{2})+be\,(d+\frac{be}{2})}{a\,e+b\,e}$$

Si hay otra cantera *f*, podrá suceder que sea conveniente el llevar la piedra de ambas canteras ó solo de una de ellas; para averiguarlo se sigue el método siguiente:

Digitized by Google

Comparacion del costo de conduccion de varias canteras.

Sea p el precio del material al pie de la cantera c, p' el precio en la cantera f, p_1 el de trasporte desde c hasta el punto g en que empalma el camino de la cantera f con la carretera; p'_1 el precio del trasporte desde f hasta el mismo punto g:

$$\text{si } p+p_1=p'+p'_1,$$

será indiferente tomar la piedra de una ú otra cantera para verificar los acopios en la parte de carretera comprendida entre los puntos e y g:

$$\text{si } p+p_1>p'+p_1'$$

saldrá mas caro el conducir los materiales de c á g y deberá verificarse el acopio entre e y g con los materiales de la cantera f, y al contrario,

$$\text{si } p+p_1<p'+p_1$$

Llamando p'_2 el precio de trasporte desde la cantera f al punto e y p_2 desde c á e,

$$\text{si } p+p_2>p'+p'_2$$

no tendrá cuenta esplotar la cantera c. Se puede calcular cuál es el punto límite á que convendria conducir la piedra de cada cantera; este punto será aquel en que el costo sea igual.

Sea u el precio de trasporte del peso dado de piedra á la unidad de distancia y u' el de carga y descarga, etc. El punto límite se supone el señalado con la letra l en la figura 92²; sea d'' la distancia entre e y g y x la distancia entre e y l, el precio del trasporte de la cantera c hasta el punto l será

$$p+u(d+x)+u'$$

Digitized by Google

el de la cantera f al mismo punto será

$$p' + u(d' + d - x) + u';$$

igualando ambas cantidades y sacando el valor de x que fija el punto límite l se obtiene

$$x = \frac{p' + p}{2u} + \frac{d' + l - d}{2}.$$

En el caso de haber varias canteras se comparan dos á dos, y si se aprovechan todas se pueden determinar los límites hasta dónde debe acopiarse de cada una de ellas. Puede suceder sin embargo que, á pesar de ser mas cara la conduccion de alguna de las canteras, convenga emplear la piedra de ellas por su calidad superior á otra.

Datos prácticos.

Segun datos que hemos adquirido en las obras, para la estraccion en la cantera de 100 metros cúbicos de piedra caliza se empleaban 68 jornales, teniendo que sacarla á barreno y venia á salir á 3,5 reales metro cúbico. En los casos en que se presente la roca en disposicion de estraerla sin emplear barreno saldrá mas barato.

El caso en que la piedra esté esparcida en los terrenos inmediatos al camino será el mas favorable para la economía de estraccion, pudiendo emplearse para recogerla mujeres y chicos; con un jornal de estos puede recogerse 1,5 metros cúbicos próximamente.

Un carro con dos mulas, con la carga de 0,6 metros cúbicos de piedra, anda unas 7 leguas en 9 á 10 horas de trabajo conduciendo piedra.

Un carro con una yunta de bueyes trabajando desde el amanecer hasta el anochecer en el mes de mayo con los descansos de comidas y almuerzo, hacia tres viajes completos á una legua trasportando 690 kilógramos de peso en cada viaje; no cargaba mas por ser el terreno quebrado.

Digitized by Google

Gastos de recepcion.

Los gastos de recepcion por unidad se obtienen dividiendo el número de metros cúbicos ó de cargos recibidos y peones que ayudan á esta operacion.

Partido de la piedra; sistemas de verificarlo y datos prácticos.

El costo del machaqueo ó partido de la piedra, depende de su calidad, medios que se emplean y práctica del obrero.

La aplicacion de máquinas á este objeto presenta hasta el dia grandes dificultades; así es que solo se adopta el partirla por medio de almadenas cuando es de gran tamaño, y con martillos de mano sobre una piedra que sirve de yunque, para reducirla á pequeño tamaño.

Al partir la piedra salta mucha parte de ella y se desperdicia bastante cantidad; para evitarlo se ha empleado el medio de rodear el espacio en que se machaca con una alambrera cuya red forma espacios pequeños entre sí. Para evitar la pérdida de tiempo en poner cada piedra del monton en el yunque, se ha empleado tambien una tolva colocada sobre la parte superior de este, con la pendiente necesaria para dejar caer la piedra sucesivamente y sostenida por un bastidor ó tijera.

Se han hecho esperiencias sobre el modo mas conveniente de partir la piedra. Berthault Ducreux comparando los diversos medios de ejecutarlo obtuvo los resultados que vamos á esponer. Los métodos esperimentados fueron los siguientes:

Primer método: por andanadas ó corte abierto; el peso de la almadena era próximamente un kilógramo. Segundo: sobre yunque y con almadena de 1,4 á 1,5 kilógramos, sirviendo de yunque una piedra grande. Tercero: el peon sentado partia la piedra con un martillo de peso de 0,9 kilógramos. Cuarto: machacando sentado y con yunque de hierro rodeado con enrejado de alambre, que no deja pasar mas que la piedra del tamaño exigido; el peso del martillo era de un kilógramo y era manejado á veces con las dos manos.

El ensayo en una caliza cuya resistencia era de cerca de 190 kilógramos por centímetro cuadrado reducida á 3,8 centímetros de lado, dió para el resultado del trabajo de un peon en un dia:

Digitized by Google

	Metros cúbicos.
Por el primer método.	1,1
Por el segundo.	0,95
Por el tercero.	0,74
Por el cuarto.	0,67

Por el primer método se producian mas detritus; el segundo y los restantes tienen el inconveniente de arrojar la piedra hácia los lados; el tercero produce tambien fragmentos mas desiguales y casi siempre algo mas pequeños; el cuarto exige mas práctica y cuando la piedra es algo dura presenta una desventaja notoria.

En piedra silícea cuya resistencia era de 374 kilógramos por centímetro cuadrado, el resultado por jornal era :

	Metros cúbicos.
Por el primer método.	0,5
Por el segundo.	0,33
Por el tercero.	0,3

El segundo y tercer método son muy desventajosos con esta piedra; el segundo porque siendo el esfuerzo para quebrantarla mayor, no puede sujetarse bien con el pie; el tercero porque el martillo no es bastante pesado respecto de la resistencia, y si se aumentase su peso habria que emplearle á dos manos. El partido ó machaqueo que salia con mas perfeccion era el de los métodos primero y cuarto.

Al cabo de 63 dias de esperiencías adoptó el machaqueo á corte abierto.

La cantidad de piedra machacada por un operario es muy variable: una de las condiciones principales para sacar el partido posible en esta operacion, es la costumbre de verificar el trabajo; indicaremos ahora algunos resultados que hemos obtenido.

En la escuela práctica de peones que tuvimos á nuestro cargo en la provincia de Santander, un peon en 10 horas de trabajo pe-

Digitized by Google

dia machacar, término medio, 0,5 metros de piedra caliza, dejándola del tamaño de 4,64 centímetros en su mayor dimension, pero con un 10 por 100 defectuosas; es decir, que pasada la piedra por el anillo, de 100 piedras casi 90 tenian el tamaño indicado y 10 eran mayores; sin embargo se puede considerar como un buen *picado*. Algunos operarios hacian 0,6 metros cúbicos.

Con 7 por 100 de defecto, término medio, machacaban 0,43 metros cúbicos en 10 horas de trabajo, y algun operario llegaba hasta 0,58 metros cúbicos y dejando un 5 por 100, 0,54 metros cúbicos. La operacion se verificaba partiendo primero la piedra con almadena de 2,8 kilógramos de peso y mango de 0,8 metros de longitud y refinando con otras de 1,4 á 1,8 kilógramos de peso. A medida que se desgastaban las aristas de las almadenas el trabajo verificado era menor. La piedra convertida en detritus ó la *merma* era de 0,07 á 0,16 del cubo total.

El gasto de herramientas era próximamente de 12 maravedises por jornal.

En otros esperimentos que verificamos, algunos operarios acostumbrados á este trabajo machacaban 0,5 á 0,6 metros cúbicos de piedra sílice en unas 10 horas de trabajo y dejando la piedra del tamaño de 3,5 á 4,6 centímetros en su mayor dimension, usando martillos de mano de 0,9 kilógramos de peso y trabajando sentados.

Dejando la piedra silícea del tamaño de 2,4 á 3,5 centímetros en su mayor dimension, operarios no acostumbrados á este trabajo, solo hacian de término medio 0,18 metros cúbicos, teniendo la piedra antes de machacarse en tamaño próximamente de 7 centímetros; se emplearon almadenas de 0,7 kilógramos de peso y luego martillos de mano de 1,3 kilógramos.

Machacando ó partiendo la primera capa del firme en caja, verificándolo por tandas de operarios, obtuvimos los resultados de 14 á 24 metros cuadrados por jornal, en 9 á 10 horas de trabajo, dejando la piedra de 5 á 7 centímetros de grueso y teniendo la capa un espesor de 11 á 12 centímetros.

Digitized by Google

El volúmen de los huecos que quedan entre la piedra machacada de 4,6 á 5,8 centímetros de lado, viene á ser 0,46 del volúmen total. Despues de trabar el firme disminuye á veces 0,20 á 0,25 el volúmen de la piedra, circunstancia que es preciso tener en cuenta para los cálculos de la cantidad que se necesite.

Colocacion de la piedra en caja: datos prácticos

Cuando la piedra está acopiada en los paseos ó en el terreno de las márgenes del camino á nivel de este, puede estenderse en caja en un jornal de operario, 15 á 17 metros lineales de primera capa, teniendo el firme 6,2 metros de ancho.

Estando la piedra apilada en la misma caja para la primera capa, un peon puede estender al dia 100 metros lineales con el ancho anterior del firme.

Cálculo de la piedra que entra por unidad lineal del firme.

Adoptado un espesor conveniente para el firme en vista de las circunstancias que deben tenerse presentes segun se indicó anteriormente, se necesita averiguar la cantidad de piedra que entra en él, para lo cual basta el calcular la que corresponde á la unidad de longitud que se adopte y multiplicarle por el número de estas unidades que tenga la carretera.

Este cálculo es muy sencillo; se tiene la seccion transversal del firme, y por consiguiente no hay mas que calcular el área de esta seccion y multiplicarla por la unidad lineal; esta seccion está compuesta de dos figuras geométricas, cuya área se puede medir fácilmente; la una es el rectángulo ó trapecio formado por la solera, la cuerda que une los bordes de la caja y los costados de esta; la otra es el segmento de círculo formado por la cuerda que une los bordes indicados y el arco que termina la superficie del firme.

Es conveniente añadir alguna cantidad de piedra á la que se calcula que entra en el firme, para que este quede con las dimensiones adoptadas, en razon á que despues de construido hace asiento. Esta precaucion es mas necesaria en España, en donde sucede con demasiada frecuencia que no hay los recursos oportunos y suficientes para ir reponiendo el desgaste del firme: esta canti-

Digitized by Google

dad hemos visto que viene á ser á veces 0,20 á 0,25 del volúmen total.

Firmes empedrados.

Propiedades de los firmes empedrados

Los firmes empedrados se diferencian de los firmes ordinarios de piedra machacada y echada en caja, en que están compuestos de piedras de mayor tamaño colocadas á mano y con cierto órden, y generalmente labradas de la forma conveniente.

Los firmes empedrados no suelen construirse sino en los sitios de gran circulacion, como sucede en las calles de las ciudades ó travesías de los pueblos en que seria muy costosa la conservacion de los firmes ordinarios, y en que lo estrecho de las calles dificultaria la construccion por no poder disponer los desagües convenientemente.

Estos firmes son mas duros y molestos para la circulacion, producen mas ruido por el paso de los carruajes y tambien suelen ser mas caros; pero ocasionan menos polvo y lodo pudiendo conservarse mas tiempo sin reparacion. En las épocas de las heladas son mas espuestos para el tránsito, por resbalar con facilidad en ellos las caballerías.

El efecto útil del tiro de las caballerías, es segun Schivigne, de 3 á 2 relativamente á los firmes ordinarios; segun esperimentos, la relacion entre la fuerza de tiro y la presion es de $^1/_{50}$ en los empedrados y de $^1/_{20}$ á $^1/_{25}$ en los firmes ordinarios, y segun Navier llega hasta $^1/_{14}$ en los carruajes al trote. Minard valua el rozamiento para los primeros en $^1/_{90}$ de la carga ó $^1/_3$ del que se verifica en los firmes ordinarios, ó lo que es lo mismo, que aquellos exigen una tercera parte menos de la fuerza del tiro.

Base y encajonado.

La base ó cimiento del empredrado es necesario que sea resistente para que no se hundan las piedras por la presion de los carruajes y al mismo tiempo para que se distribuya la carga convenientemente. La arena gruesa de un milímetro próximamente, pa-

Digitized by Google

sada por la zaranda y encajonada, satisface á estas condiciones. El hormigon tambien suele emplearse, pero es caro y hace los firmes demasiado duros ó rígidos, y solo se emplea como cimiento de los empedrados en las cunetas ó arroyos.

Para encajonar la arena se puede abrir caja como en los firmes ordinarios, ó formar los costados con una fila de piedras de mayores dimensiones que el resto del empedrado, á las cuales se da el nombre de *maestras*.

Estas maestras tambien se colocan aunque se abra caja, y forman los estribos del embovedado del firme; deben ser formadas de piedras duras y cuyas dimensiones son próximamente de doble lado que las del empedrado, y dos y media veces de espesor ó sea la parte que se introduce, á que se da el nombre de *cola*.

A la base de arena se da un grueso de 23 á 26 centímetros y es necesario contar con que esta capa tenga 3 ó 4 centímetros mas de altura que la necesaria, en razon al asiento que hace el firme despues de construido. Se echa por capas sucesivas que se riegan y apisonan hasta que hacen el asiento suficiente, cosa indispensable para evitar los baches. Para distribuir mejor la presion, se ha ensayado el colocar debajo de la arena un emparrillado de troncos delgados ó ramas; pero este sistema tiene el inconveniente de que las aguas le pudran y resulta que hace asiento el firme. Tambien algunas veces, cuando los empedrados tienen que resistir á una gran circulacion, se ha solido colocar otro empedrado invertido como base de él.

Clases de piedra.

Las piedras rodadas ó *cantos rodados* forman malos empedrados; así es que solo por economía pueden emplearse en algunos casos, ademas de no conseguir buena union con ellas, forman una superficie desigual para el tránsito.

Las piedras deben ser duras para resistir á las presiones de los carruajes; así es que bajo este punto de vista los pórfidos y otras rocas muy duras serian las mejores; pero tienen el gran inconveniente de alisarse demasiado por el rozamiento de las ruedas y aun

Digitized by Google

de los pies de las caballerías, y producir firmes resbaladizos. Las calizas son tambien bajo este punto de vista poco á propósito, y si son de poca dureza se desgastan con facilidad y se forman rodadas. Los granitos tienen el inconveniente de desgastarse desigualmente en razon á la diferente naturaleza de los materiales de que están compuestos; así es que el cuarzo resiste bien á las presiones y humedad; pero el feldspato se descompone con mas facilidad y la mica es quebradiza, por lo que se forman baches y desigualdades en el firme, como puede observarse en los empedrados de Madrid. Sin embargo los granitos en que predomine el cuarzo, serán mas convenientes. De las piedras silíceas, el pedernal produce firmes demasiado duros ó rígidos para el tránsito, es difícil de labrar, y despues de verificada esta operacion forma aristas cortantes; sin embargo, da resultados satisfactorios relativamente á la duracion del firme. Las areniscas duras son las que mejor satisfacen á las condiciones de un buen empedrado por ser suficientemente resistentes y no formar una superficie tan resbaladiza.

Hay piedras anfibólicas que dan muy buenos resultados para la construccion de empedrados. En general puede decirse que convendrá emplear piedras que sean duras, de construccion homogénea, pero cuyo grano no sea muy cerrado para que no se alise demasiado por efecto de la circulacion.

Clases de empedrados.

Se dividen los empedrados en *regulares* é *irregulares*; los primeros están compuestos de piedras de la misma forma y dimensiones próximamente iguales, y los segundos de piedras mas desiguales.

El empedrado llamado de *adoquines* es el mas regular; está compuesto de piedras labradas por todas sus caras con mas ó menos esmero, pero generalmente á *picon* y á veces solo con el martillo cuando la piedra es de cierta calidad, como sucede con el pedernal. Cuando se labra la piedra, se deja una pequeña diferencia entre las dimensiones de la parte superior é inferior; es decir, se le da la forma de *cuña* con el objeto de que al colocarse formando

Digitized by Google

la curvatura del firme, no se apoyen unas con otras por una de sus aristas solamente. Cuando las piedras son pequeñas no es tan sensible este inconveniente.

Nada hay fijo todavía respecto á las dimensiones qne deben tener los adoquines; se creyó algun tiempo eran los mejores los que tienen 0,16 á 0,20 metros de lado y mas recientemente se han adoptado por algunos ingenieros las dimensiones de 0,23 metros por todos lados. Al hablar de los afirmados de Londres y otros puntos se volverá á tratar de este particular.

El empedrado de piedras labradas por una ó mas caras recibe tambien el nombre de *empedrado careado*; y á veces se aplica solo esta denominacion cuando se labra la cara superior con mas esmero. De todos modos el dar demasiada longitud á los adoquines en el sentido transversal del firme, los espondria á romperse al cargar sobre ellos las ruedas de los carruajes, y si fuesen muy anchos resbalarian las caballerías con mas facilidad por no ofrecer el suficiente asidero las juntas; así es que las primeras dimensiones indicadas para la longitud y un poco menores para el ancho, parece que no deben escederse.

Construccion del empedrado.

Las piedras se colocan por *filas* normales ó perpendiculares al eje del camino; sin embargo de que se ha creido por algunos ser mas conveniente el colocarlas oblícuas con el objeto de que no ejerzan tanta accion las ruedas, consiguiendo de este modo mayor duracion del firme. Este sistema adoptado en muchas ciudades de Alemania está indicado en la fig. 93.

Antes de asentar el empedrado se estienden las capas de arena del cimiento y se apisonan; se da á la caja la misma forma que ha de tener la superficie del afirmado, y se colocan despues las piedras á juntas encontradas dejando entre ellas una separacion de un centímetro próximamente. Este espacio ó hueco se rellena con el recebo de arena, y de este modo no se tropiezan las piedras por sus aristas, lo cual daria lugar á la rotura de estas. La base de arena se riega al apisonarla para que se asiente bien. Se debe emplear

Digitized by Google

con preferencia la arena para el relleno indicado, pues este material tiene la movilidad necesaria para adaptarse perfectamente á la variacion de forma que puedan tener las juntas por las vibraciones que produce el tránsito. La lechada de cal ó el mortero no cumple bien su objeto, en razon á que al secarse se contrae y queda separado de las piedras y los choques de estas le hacen saltar; ademas estando formado de cales grasas las aguas le destruyen fácilmente.

Colocadas las piedras en la posicion que deben quedar como se indicó antes, se las golpea con el martillo para que asienten bien, y concluida esta operacion se rellenan las juntas con la hoja de hierro, se estiende una capa de arena, se riega y se apisona con pisones de 35 á 40 kilógramos de peso, ó se pasa el cilindro.

Las herramientas usadas por los empedradores se describirán al tratar de la conservacion de los afirmados.

La pendiente transversal de los firmes empedrados es menor que la de los de piedra partida, en razon á que los primeros no están espuestos en tanto grado como los segundos á las degradaciones que causan las aguas; ademas, si la pendiente fuese escesiva resbalarian con facilidad las caballerías, particularmente en tiempo de heladas: dicha pendiente no suele esceder de $^1/_{50}$ del ancho.

En los arroyos es necesario colocar los adoquines de modo que no formen una junta contínua en el eje; lo mas conveniente seria empedrarlos con piedras de mayor tamaño que las del afirmado general y de una forma algo cóncava. Las juntas en esta parte deben rellenarse con cal hidráulica para evitar el que las aguas corrientes saquen la arena y las dejen al descubierto.

Para que las aguas no perjudiquen ó entorpezcan la circulacion de los peatones, en el caso de colocar los arroyos contiguos á las aceras, se suelen construir debajo de estas en la disposicion que se indica en la fig. 94.

En la descripcion de los afirmados de Paris y otros puntos, se darán á conocer los diversos sistemas empleados en los firmes y sus ventajas ó inconvenientes respectivos.

Digitized by Google

Costo de los empedrados.

Del mismo modo que se indicó al tratar del costo de la saca y conduccion de la piedra en los firmes ordinarios, se procede en el cálculo del relativo al material que se emplea en los empedrados. El costo del partido de la piedra en aquellos, es actualmente el de labra ó careado, y aunque son escasos los datos que tenemos sobre la construccion de empedrados, indicaremos los que hemos podido adquirir.

En un empedrado que hemos construido de piedra arenisca dura careada por los planos de punta y cara superior y cuyas dimensiones eran de 16 á 19 centímetros de cola, 14 á 16 de ancho y 18 á 25 de longitud, conducida la piedra de 418 metros de distancia media, se invirtieron en la construccion de 1536 metros cuadrados, 1270 jornales de cantero, 551 de peon, y 292 de carros. El importe de los primeros fué de 10571 rs., el de los segundos 2755 y el de los terceros 2915; ademas el gasto de herramientas ascendió á 198 rs.; por consiguiente dividiendo el total de 16435 rs. por el número de metros cuadrados, se obtiene para el importe del metro superficial de empedrado 10,05 rs. La piedra que se empleaba y cuya calidad se indicó antes, estaba en el lecho de un rio en forma de cantos rodados.

Leveillé y Homberg dan los datos siguientes relativos al tiempo y mano de obra que se invierte en diversas operaciones de los firmes empedrados:

Primero; una cuadrilla compuesta de tres empedradores y tres peones desempiedran y vuelven á empedrar de 75 á 90 metros cuadrados, en un dia de trabajo de 9 á 10 horas, bastando para esta superficie un apisonador. El empedrado de un metro cuadrado exige 0,01 de jornal de empedrador; en un jornal completo puede colocar 180 á 400 piezas ó piedras.

Si los adoquines que se arrancan para reparar un empedrado, se limpian y apilan en la márgen del camino, clasificándolos por magnitudes, se vienen á emplear para estas operaciones 0,04 de jornal próximamente.

Un sacador ó arrancador, solo puede proveer á tres ó cuatro

Digitized by Google

colocadores á lo mas, segun sea la clase de arena, pues es mucho mas difícil de arrancar la piedra cuando se ha construido el firme con arena de rio que con la de mina.

La cantidad de arena empleada en el empedrado de un metro cuadrado, viene á ser de 0,06 metros cúbicos, sin contar con la estendida en la superficie.

Un peon apisona en un dia de trabajo tres capas de arena en la base del afirmado de 36 melros cuadrados de estension cada una, que forman 9 metros cúbicos.

La cantidad de agua que absorbe el cimiento ó base de arena formada de las tres capas anteriores, es de 0,04 metros cúbicos.

El afirmado en que se hicieron estas esperiencias, tenia 4,5 á 5 metros de ancho, y entraban unos 25 adoquines por metro cuadrado, cuyos lados variaban de 0,17 á 0,21 metros.

Firmes de madera.

Hace algunos años que se propusieron los afirmados de madera como una mejora importante, creyendo que podria sustituir ventajosamente en muchos casos á los otros sistemas.

Los primeros afirmados de esta clase se construyeron en San Petesburgo en 1834. Estaban compuestos de trozos exagonales de 15 á 20 centímetros de diámetro. Despues se ensayaron tambien en Inglaterra y Francia y mas recientemente en Madrid. La figura 95 representa el sistema indicado.

El ingeniero inglés Hawkins que dirigió algunos de estos ensayos, indica los preceptos que conviene adoptar para su construccion, que son los siguientes:

El suelo debe apisonarse bien para formar una base sólida; las maderas deben cortarse del corazon del árbol, siendo las mas convenientes las resinosas, secas y empleadas así que se corten para que no cambien de forma; la altura de los tarugos debe ser una y media veces su diámetro; la forma exagonal es la mejor por el mayor enlace que resulta.

Digitized by Google

Uno de los afirmados de esta clase que dieron mejores resultados, fué el propuesto por Hogdson en 1839; se ensayó en una calle de Londres cuya circulacion diaria era de 7000 carruajes con peso de 200 á 500 kilógramos cada uno, y mas de 1200 caballerías. Este enmaderado formaba un piso plano, compuesto de prismas cuyas caras laterales tenian una inclinacion de 63°, de modo que los tarugos de dos filos se cruzaban (Fig. 96). Tambien se hicieron de forma triangular (Fig. 97) y de la misma disposicion que la 95 con ranuras y lengüetas laterales.

Otro sistema se ensayó tambien, al parecer con bastante buen éxito, compuesto de tarugos romboidales de pino, unidos por cabillas de madera.

Los diversos sistemas propuestos al principio de estos ensayos se describen detalladamente en el *Bouletin de la Societé d' encouragement* de la industria francesa de 1844.

Tambien se ensayó un sistema misto de empedrado compuesto de arenisca y tarugos de madera.

Los afirmados de madera tienen la ventaja de ser elásticos, cómodos para el tiro y no producir ruido; sin embargo que aunque esta circunstancia es conveniente bajo cierto punto de vista, puede ser perjudicial en los pueblos, por no sentirse los carruajes hasta que están cerca; proporcionan tambien un piso mas limpio que otros sistemas en razon á no producir polvo. Tienen la desventaja de estar espuestos á frecuentes reparaciones por atacarlos las alternativas de sequedad y humedad, y variar de volúmen por estas, particularmente en los climas de temperatura elevada. Este cambio de volúmen no solo los saca de su sitio y forma desigualdades en el piso, sino que empuja y levanta las aceras como se verificaba en la calle indicada de Madrid.

En la actualidad su empleo se reduce á los portales, patios, cocheras, etc., en donde es de buena aplicacion por las ventajas enunciadas que presentan, y tambien serán convenientes en las plazas ó calles contiguas á los edificios públicos en los cuales sea necesario que haya el menor ruido posible, como

Digitized by Google

sucede en la proximidad de los hospitales, universidades, etc.

Firmes de goma elástica.

En Inglaterra se han empleado para los suelos de cuadras, en el patio del palacio de Windsor y otros sitios, adoquines de goma elástica. Estos parece que son muy á próposito para la salubridad de las cuadras por impedir las exhalaciones amoniacales de la orina corrompida, y son tambien mas cómodos para echarse las caballerías, y evitan que se estropeen y rocen las rodillas al echarse.

Afirmados de hierro.

Tambien se han ensayado en Inglaterra afirmados de hierro fundido, formados de prismas ensamblados á cola de milano, y estriadas las superficies para dar el conveniente asidero á las caballerías; pero estos ensayos no llegaron á generalizarse; los pisos de hierro tienen aplicacion en las fábricas de este metal, pero entonces se emplean planchas gruesas.

Los firmes de esta clase ensayados en Francia se indican al tratar de los afirmados de esta capital.

Firmes cerámicos.

Los firmes llamados cerámicos propuestos por Polonceau y Brosser, estaban compuestos de prismas exagonales de arcilla cocida; no llegaron á emplearse.

Pueden considerarse en esta clasificacion los firmes construidos en algunas calles de Holanda y Venecia, compuestos de ladrillos de canto; este sistema ha solido tener aplicacion en España en portales, patios, etc.

Digitized by Google

Firmes asfaltados.

Las aplicaciones del asfalto para la construccion de aceras y pavimentos de patios, portales, etc., se ha estendido mucho de algunos años á esta parte; sin embargo, para el afirmado de los caminos ó calles en donde transiten con frecuencia carruajes y caballerías, solo se han hecho algunos ensayos en Paris. Vamos á estractar una Memoria del ingeniero Mr. Coulaine, inserta en los *Anales de puentes y calzadas de Francia de* 1850, el cual estuvo encargado de ellos.

Al tratar de la comparacion de los afirmados de varias capitales, en la parte tercera de este tratado, se verá la opinion emitida respecto de los asfaltados por el ingeniero Baudemoulin.

Los primeros ensayos de firmes bituminosos ó asfálticos, se hicieron con adoquines de 0,^{m}15 de espesor compuesto de cuarzo y mastic de betun de hulla, colocados sobre una capa de arena; las juntas se llenaban de mastic, pero se destruia este y quedaba un firme malísimo; otros ensayos con hormigon bituminoso tan poco dieron mejores resultados.

Los defectos principales de estos betunes eran el de ser rígidos y quebradizos, siendo necesario por el contrario, para resistir á la accion de los carruajes, que pueden conservar durante los mayores frios cierta maleabilidad, que les haga ceder sin romperse, que es lo que se ha buscado en los nuevos ensayos.

Composicion y propiedades de las sustancias bituminosas

El mastic bituminoso se compone principalmente de brea mineral y caliza; en la mayor parte de las aplicaciones se añade arena gruesa limpia de tierra, se funde á unos 100° centígrados; por la destilacion produce un aceite que hace á esta materia flexible, pues privada de él resulta quebradiza. De la diferencia de calidad entre este aceite y el que produce el alquitran que se destila de la hulla, parece provenir la bondad del betun natural.

Las calizas que se mezclan con la brea mineral, deben ser puras

Digitized by Google

ó contener la menor parte posible de materias estrañas, sobre todo el azufre que hace los mastics quebradizos. Para que la caliza pueda unirse bien á la brea es preciso que esté reducida á polvo.

Antes de cocer la roca debe reducirse á polvo, bien mecánicamente ó por la accion del calor; pero hay que tener presente que las calizas puras exigen un fuego prolongado para unirse con la brea y no es fácil que se combinen bien; es mas conveniente emplear las calizas bituminosas ó asfalto natural, las cuales están compuestas de cal carbonatada y brea mineral.

Preparacion y empleo de los mastics bituminosos en los firmes y enlosados.

Las sustancias indicadas dan muy buenos resultados para enlosados comunes, mas para su empleo en los afirmados es necesario adicionar un aceite fijo, con objeto de dar al asfalto maleabilidad y flexibilidad; el aceite que empleó Coulaine fué el de resina; se podia sustituir á este, otro aceite graso que no sea secante; pero el olor es desagradable y el precio mas elevado.

La proporcion de las materias que se emplearon fué:

Asfalto Deysse.	90 (*)
Brea de Bastenes.	7,5
Aceite de resina..	2,5
Arena.	60

Se empieza por fundir la brea en la caldera y despues se echa el asfalto poco á poco; cuando este se pulveriza por la accion del calor, es conveniente verificar las dos operaciones á la vez y echar el asfalto cuando está todavía caliente, pues de este modo se economiza brea, se disminuye el gasto de fundicion y la preparacion del mastic se hace con mas rapidez; cuando el asfalto está completamente desleido en la brea, se echa el aceite y arena.

Durante la operacion se remueve continuamente y se advierte que aquella va á terminar cuando las burbujas de vapor revientan

(*) Podrá variar algo la proporcion segun la calidad del asfalto.

Digitized by Google

en la superficie desprendiendo humo azulado; entonces debe verse si la mezcla tiene el grado de concentracion conveniente, pues su flexibilidad disminuye por la evaporacion del aceite. La consistencia que toma al enfriarse no depende solo de la proporcion de materias empleadas, sino tambien de la composicion de la brea y asfalto y de la duracion é intensidad del fuego.

El mastic no debe presentar un esceso de dureza que le haria quebradizo, ni demasiada blandura que produciría deformaciones y aumentaria el tiro de las caballerías. El medio práctico empleado para ensayar si tiene la consistencia conveniente, consiste en echar sobre una caja de hoja de lata una pequeña cantidad (un centímetro de grueso); se remueve este pedazo en agua á 25° centígrados por espacio de dos minutos, se coloca sobre el pedazo referido una pieza ó punta de acero en forma de pirámide cuadrangular cuya altura es igual al lado de la base; otra punta igual se coloca sobre un pedazo de mastic preparado de antemano, de la consistencia que se quiere obtener y á la misma temperatura; el obrero se pone de pie sobre una placa á que están sujetas estas piezas de acero, permaneciendo durante 5 segundos y produciendo un movimiento de oscilacion que haga penetrar las puntas en los dos pedazos; para que el mastic tenga un grado de coccion conveniente es preciso que las dos señales ó huellas queden iguales; segun varias esperiencias siendo el peso del obrero de 60 á 70 kilógramos la impresion debe ser de 7 á 8 milímetros para el mastic que se emplea en la construccion de carreteras.

Para las aceras deberia ser la impresion de 5 á 6 milímetros, y para las cubiertas de edificios, de 6 á 7.

Cuando la impresion es menor de 5 milímetros, el mastic, que esperimenta por una baja de temperatura mas contraccion que la mayor parte de los demas cuerpos, no posee durante los frios bastante flexibilidad para que este movimiento pueda efectuarse enteramente en el sentido vertical, y se abre entonces espontáneamente.

Las indicaciones anteriores son relativas al clima de Francia;

UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO
Digitized by Google

habria que modificarlas en otros cuya temperatura media fuese diferente.

Si el ancho de la impresion es inferior á la cantidad indicada, se añade aceite de resina; en el caso que fuese demasiado líquida la mezcla, se añade arena y asfalto. Cuando al contrario la impresion escede el ancho indicado, se continua calentando hasta que el mastic se haya concentrado mas; si así se hace demasiado pastosa la mezcla, se añade brea.

Para emplear el mastic se hace como en los enlosados comunes por fajas de unos 0,75 metros de ancho, sirviéndose de cazos con los cuales se estiende. Despues se nivela con una regla cuadrada de 0,07 metros de grueso, que para la primera faja se apoya sobre otras dos reglas y para las siguientes sobre la faja anterior y sobre una sola regla.

A medida que se nivela se va echando arena con una zaranda y se iguala y golpea para introducirla en el asfalto, y con una maza de hierro se golpea tambien en las juntas para unirlas. El introducir piedras en el mastic es perjudicial.

Arreglo del terreno en donde ha de echarse el asfalto.

Un firme comun de piedra machacada ya consolidada por el tránsito es el sistema de fundacion mas económico, resistente y fácil de hacer. El hormigon ensayado como cimiento, aun siendo de cal hidráulica y estar un año sin abrirse á la circulacion el camino, produjo malos resultados. Consiste esta diferencia de bondad en el modo de agregacion de ambos sistemas, pues en un firme de piedra machacada la trabazon de los materiales se efectua por la compresion y cuando ya ha hecho clavo, las piedras están apretadas unas con otras como cuñas, y no contienen mas que la cantidad de detritus necesaria para llenar los intersticios.

Lo contrario sucede con el hormigon; las piedras generalmente no se tocan, están unidas por mortero que siendo de poca dureza y no teniendo flexibilidad, se destruye por el peso de los carruajes. Ademas tiene el hormigon el inconveniente de aumentar de volúmen con las heladas, cuando no está perfectamente seco ó se ha

Digitized by Google

desagregado por la accion de los carruajes, y la capa bituminosa levantada por el hormigon se quiebra fácilmente cuando llega el deshielo. Las partes de cal no apagadas producen tambien, al apagarse despues de aplicado el hormigon, hendeduras considerables. Lo mismo sucede en las aceras; ha producido mejor efecto colocarlas sobre una capa de piedra machacada y recebada con arena. Es tambien mas económico este método que sobre hormigon, y se puede aplicar inmediatamente el betun tanto en invierno como en verano.

Cuando se quiere construir un asfaltado con destino á los carruajes, se coloca una base ó forma de arena ó se establece sobre un afirmado de piedra machacada de 10 centímetros de espesor, que esté bien limpia de tierra ó detritus. Se comprime con pisones de hierro de unos 20 kilógramos. Cuando se ha nivelado bien la superficie y los materiales de esta empiezan á estar bastante unidos, se va echando arena hasta llenar bien los huecos entre las piedras. En tiempo seco hay que regar durante la operacion. Cuando ya está suficientemente consolidado el firme, se da paso para que el tránsito acabe de afirmarle, cuidando de barrer durante este tiempo para quitar las impresiones y rodadas; tambien podrá emplearse en algunos casos el cilindro compresor. No se empieza la aplicacion de la capa bituminosa sino cuando el empedrado ha adquirido toda la solidez posible.

Espesor del firme y estacion mas conveniente para la aplicacion del asfalto.

Este sistema de fundacion permite reducir convenientemente el grueso de la capa bituminosa: se ha hecho hasta de 2 centímetros. Un espesor de 3 á 4 cuando mas, aumentando de los estremos al centro, es suficiente; si fuese mayor aumentaria el gasto sin haber mas solidez y haria mas difícil la colocacion y reparacion de los tubos de agua y gas en las poblaciones, produciendo ademas deformaciones en el firme durante los calores. El bombeo no debe esceder de $^1/_{100}$ del ancho del firme.

Para obtener los mejores resultados debe hacerse el embetunado en la primavera. Haciéndolo en tiempo frio ó en otoño, el ter-

Digitized by Google

reno tiene siempre alguna humedad y se forman entre la fundacion y la capa bituminosa vacíos producidos por el vapor del agua, y cuando la temperatura es baja, no tiene el betun bastante flexibilidad para llenar estos huecos, resultando la rotura. En la primavera y el verano es bastante flexible el betun para adaptarse al suelo por la presion de los carruajes, consolida á su vez el firme del cimiento y cuando llega el invierno no hay que temer ya deformaciones.

Dice Coulaine, que segun las diversas esperiencias verificadas puede asegurar que siguiendo los preceptos indicados se obtendrán escelentes resultados.

Varios trozos de carretera asfaltados construidos por Coulaine y algunos de ellos entregados á la circulacion hacia años han producido buenos resultados, sin haberse notado degradacion sino cuando el espesor era de 2 centímetros, y en los trozos en que la proporcion de arena era muy considerable. En algunas calles que se estableció, á pesar de su tránsito de 800 caballerías diarias, se mantenia perfectamente al cabo de seis años, presentando mucha superioridad á los demas métodos de afirmado en resistencia y duracion.

Conservacion y reparacion de los firmes asfaltados. Procedimiento en frio.

El objeto de la conservacion es reparar las degradaciones y deformaciones parciales, y reemplazar sucesivamente el desgaste.

Para las reparaciones parciales de esta clase de firmes deberia cortarse todo al rededor de la porcion degradada, y construirla de nuevo ó picar la superficie á una profundidad de unos 2 centímetros y llenar esta cavidad de nuevo mastic; para reponer el desgaste habria que echar una nueva capa, limpiando bien antes la superficie.

Estos métodos tienen el gran inconveniente de exigir para la menor reparacion aparatos complicados y obreros esperimentados, y ademas no tienen el carácter distintivo de toda buena conservacion, que es el de rectificar ó disminuir los defectos de construccion, sin ser necesario rehacer completa ó parcialmente; el procedimiento de conservacion en frio, parece satisfacer á las condiciones espuestas, no exigiendo calderas y pudiendo verificarlo cualquier

Digitized by Google

obrero. Para ponerlo en práctica se limpia bien la parte que ha de repararse, se la cubre por medio de una brocha con una capa de betun líquido, compuesto de tres partes de aceite de resina, y una parte de alquitran natural; despues se estiende con una escoba asfalto en polvo sobre esta capa hasta que esté completamente saturado, y sobre todo se echa arena con un harnero. Al cabo de algunos dias se forma con la influencia de la circulacion y la afinidad natural de estas sustancias una capa de mastic de 2 á 3 milímetros de espesor resistente y unida con el betun.

Para que fragüe rápidamente es necesario que la capa de aceite sea muy delgada, á razon de un tercio de kilógramo por metro superficial próximamente. La cantidad de asfalto absorbido igualmente por metro cuadrado viene á ser entonces un kilógramo. La cantidad de arena no debe ser considerable y se debe quitar la escedente así que los carruajes han pasado sobre toda la superficie del firme. Estas operaciones no deben hacerse en la estacion del invierno, sino desde mayo á octubre, porque el calor del sol es indispensable para el buen resultado.

El asfalto pulverizado en frio es mas rico en materias bituminosas que el preparado al fuego; pero cuando la superficie que haya de repararse sea demasiado ondulada, debe emplearse en vez del asfalto en polvo, en pequeños fragmentos cuyas dimensiones deben estar en relacion con el estado de degradacion del firme. Este sistema se ha esperimentado y ha producido muy buenos resultados, presentando una economía de cerca de la mitad sobre la preparacion del mastic en caliente.

Procedimiento para la construccion de los firmes bituminosos en frio.

Para construir los firmes bituminosos en frio se procede del modo siguiente:

Se parte la piedra asfáltica en fragmentos del grueso de las piedras que se emplean generalmente para la construccion y reparacion, separando las muy pequeñas, para lo cual se pasa por un harnero cuyos agujeros tienen 2 centímetros de ancho y 5 á 6 de longitud. Preparados de este modo los materiales se riegan

Digitized by Google

con aceite de Coltar y se mueven mucho en el mismo harnero hasta que se pongan bien envueltos con esta sustancia, se cubre en seguida el afirmado que sirve de cimiento con una capa de este material en un espesor de 4 á 5 centímetros, y se comprime esta capa con un pison de hierro de peso próximamente de 20 kilógramos.

Cuando los fragmentos de asfalto están bien unidos entre sí, se llenan los huecos que resultan con arena bituminosa preparada de antemano con

Asfalto en polvo.	90 kilógramos.
Arena comun.	60
Aceite de resina.	7,5
Brea ó alquitran natural..	2,5

El aceite de resina y la brea pueden reemplazarse por 10 kilógramos de resina; hecha esta mezcla se la divide con palas de dientes en fragmentos pequeños que se revuelven en el asfalto en polvo. La arena compuesta así se estiende sobre el firme con una pala, de modo que llene los huecos que han quedado entre las piedras (el mastic graso que se introduce de este modo puede evaluarse en 9 ó 10 kilógramos por metro cuadrado), se continua apisonando hasta que esté bien unida la capa, y para que no se pegue el pison se moja en agua ó se espolvorea de asfalto; el rodillo puede emplearse tambien para esta operacion.

Para obtener mas pronta y completa agregacion conviene mojar la superficie del afirmado con una capa de aceite bituminosa espolvoreándola con asfalto y arena.

Es necesario que el afirmado del cimiento sea muy resistente, pues sino uniria con dificultad la caliza asfáltica y el mastic graso se introduciria por las juntas de las piedras, comunicando cierta blandura al firme que no seria fácil remediar.

Este sistema presenta varias ventajas; es fácil de ejecutar; no

Digitized by Google

se necesitan los aparatos que para la aplicacion en caliente, en los que hay que temer ademas que la coccion sea incompleta; la aplicacion puede hacerse en cualquiera estacion; presenta á la accion de las ruedas una superficie mas firme que la chapa aplicada en caliente, y por fin, evita el resbalamiento de las caballerías.

Las variaciones de temperatura tienen poca influencia en este afirmado, pues de las cuatro sustancias de que se compone, la brea sola puede variar de consistencia; el aceite se conserva líquido durante los grandes frios; se obtendrá mayor fijeza cuanto sea relativamente menor la cantidad de brea.

Tambien presenta mas comodidad este sistema para la colocacion y reparacion de los tubos de conduccion de agua y gas, y Mr. Coulaine asegura en su Memoria que las esperiencias de este sistema habian producido escelentes resultados.

Otro procedimiento ensayado para aplicacion en frio, consiste en colocar en vez de una sola capa de piedra asfáltica dos capas de igual espesor; la primera compuesta de piedras silíceas cubiertas con una ganga bituminosa, y la segunda de fragmentos preparados como se ha dicho antes. Las piedras destinadas para la capa inferior deben separarse de los pedazos muy pequeños por medio de una criba de alambres, espaciados 2 centímetros, y separar tambien los fragmentos demasiado gruesos.

La ganga con que se embetunan estos fragmentos, puede aplicarse de diversos modos; el mas sencillo consiste en empaparlos en el aceite de Coltar dejándolos escurrir completamente, echándolos en una mezcla de dos partes de asfalto pulverizado y de una de arena, y revolver todo con una pala dejando algunos dias la piedra con esta preparacion hasta que se mezcle bien. Despues de esto pueden emplearse ya las piedras, y se verifica la agregacion con el auxilio del pison y del mastic graso, como en el método anterior.

En otro ensayo verificado con el Mac-Adam bituminoso estaba compuesto de piedras silíceas impregnadas de una ganga mucho

Digitized by Google

mas espesa. Para aplicar esta ganga se sumerge las piedras en una caldera de mastic caliente conteniendo

Brea mineral.	8 kilógramos.
Aceite de resina	2
Asfalto..	60
Arena.	40

Al cabo de un cuarto de hora próximamente se retira la piedra de la caldera con un cazo y se la coloca en un harnero durante algunos segundos solamente, de modo que el mastic que la envuelve quede en esceso; en seguida se echa y se revuelve en asfalto pulverizado y despues se separa con un harnero el asfalto y los fragmentos de mastic que no están unidos á la piedra; y estos fragmentos se separan á su vez del asfalto por medio de un harnero mas fino.

Uno ó dos dias antes de emplearse se echa sobre la piedra preparada como se ha dicho, *Coltar* en la proporcion de $^1/_{100}$ de su peso próximamente, y se revuelve con un rastrillo con el objeto de que se pegue mas uniformemente á la superficie de la piedra; tambien deben cubrirse los fragmentos de mastic con uno y medio por 100 de *Coltar*.

El empleo de estas piedras se efectua del modo ordinario y despues de haberlas apisonado ó cilindrado, se llenan los huecos con fragmentos del mastic descrito, despues se comprime y se entrega á la circulacion.

Cuando está completamente afirmado se le espolvorea con cuidado con el auxilio de la escoba y de un fuelle, y se rellenan los huecos por medio de una pala ó espátula con arena bituminosa preparada en frio con las materias y proporciones siguientes: 60 kilógramos de arena, 90 de asfalto en polvo y 15 de brea ó alquitran líquido, con base de aceite de resina. Despues de haber barrido la arena que haya en esceso, se aplica una capa de mastic con una brocha.

Digitized by Google

La piedra que se emplee ademas de ser dura debe presentar una superficie áspera para que adhiera el mastic; arenisca dura es conveniente para el caso. Las sustancias destinadas á la agregacion vienen á ser 46 por 100 de la piedra.

En otro ensayo verificado con la piedra asfáltica empapada en *Coltar* sin adicion del mastic graso, producia por efecto del tránsito desagregacion y polvo como en los firmes comunes, lo que proviene de no ser bastante rica la piedra asfáltica en materias bituminosas.

Resbalamiento de las caballerías.

En verano tienen la ventaja los firmes asfálticos ó bituminosos de que la superficie presente mas asidero á las caballerías que los empedrados. Esta superioridad se mantiene hasta los 15° Reaumur próximamente, si está seca la superficie ó si está cubierta con algo de lodo seco ó polvo.

Entre 11° y 15° los firmes bituminosos son casi tan resbaladizos como los empedrados, si está seca y limpia la superficie; en cualquiera otra circunstancia es mas resbaladizo el firme asfáltico, pero si el lodo permanece líquido, las caballerías marchan fácilmente; cuando el lodo empieza á desecarse formando pasta, hace la marcha difícil: puede echarse una capa de arena durante el tiempo húmedo que se remueve diariamente. Se ha ensayado hacer estrías para dar mas aspereza al firme, pero el tránsito las borra pronto.

En los firmes bituminosos aplicados en frio desaparecen estas dificultades; el mastic graso conserva en todas las temperaturas bastante flexibilidad para que puedan hacer pie las caballerías. El mastic no se hiela aun cuando esté el termómetro bajo cero. En esta clase de afirmados las herraduras de las caballerías se desgastan menos, su fatiga es menor, los carruajes pueden ser mas ligeros y exigen menos reparaciones.

Digitized by Google

Procedimiento de aplicacion en caliente.

Costo de los firmes asfaltados.

El precio á que salian estos afirmados en Paris era el siguiente:

	Francs.
Mano de obra por un metro superficial y un centímetro de espesor.	0,13
Asfalto, brea, aceite, resina y arena, fundicion, etc. . . .	2,48
TOTAL.	2,61

Procedimiento de aplicacion en frio con piedra asfáltica y mastic blando.

	Francs.
La piedra asfáltica, machaqueo y cribado, preparacion y empleo etc., el metro cuadrado de un centímetro de espesor.	2,65

Procedimiento de aplicacion en frio con mastic blando y piedra silícea con ganga bituminosa.

	Francs.
Piedra, asfalto, brea, aceite y arena, preparacion y empleo por metro cuadrado y un centímetro de espesor.	1,56

En cada caso no hay mas que aplicar estos precios segun el espesor que se ha esplicado debe tener el firme, añadiendo el costo de fundicion ó afirmado que sirve de cimiento.

Segun esperiencias hechas en firmes á la Mac-Adam bituminosos construidos hacia cuatro años, el desgaste viene á ser de un milímetro por 1000 caballerías de frecuentacion diaria.

Digitized by Google

Empedrados unidos con betun y aplicaciones de este sistema.

Los adoquines que se emplean son de 0m 10 á 0m 15 por 0m 20 á 0m 30 y de 0m 15 de cola bien labrados, y para prepararlos se procede del modo siguiente:

Sobre una plataforma bien plana formada de placas de fundicion se colocan de canto dos tiras de hierro de una longitud de 8 á 10 metros; su espesor de 1 á 2 centímetros y de una altura igual á la del firme; estas dos tiras tienen entre sí una distancia tal que se pueda colocar entre ellas tres líneas paralelas de adoquines, separados por juntas de 2,5 centímetros; están apoyados en otra serie de tiras transversales de la misma altura, de modo que cada una presenta en su medio una ranura de 10 centímetros de profundidad y una anchura que permite establecer una ranura correspondiente en la línea central de adoquines. Estas tiras transversales dividen así el espacio comprendido entre las dos tiras longitudinales en una série de divisiones de 0,m60 á 0m70 de longitud; todo está sujeto por tirantes de hierro que vienen á comprimir la superficie esterior de las dos bandas longitudinales.

En cada una de estas cajas se colocan las tres líneas de adoquines invertidos; es decir, colocada la superficie superior aparente sobre la placa de hierro, debe cuidarse de poner las juntas transversales encontradas de modo que se toquen en estas juntas los adoquines ó estén separados solo 1 ó 2 milímetros. Para asegurar la regularidad de las juntas longitudinales conviene disponer de antemano sobre la plataforma en su sitio, pequeños prismas huecos de 25 milímetros de base compuestos de tres hilos sostenidos de distancia en distancia por discos triangulares de chapa de hierro ó de madera. Cuando los adoquines están colocados convenientemente se introduce arena fina en sus juntas de modo que cubra enteramente estos prismas, y despues con un fuelle se quita el resto de la arena esparcida por la superficie del adoquinado.

Digitized by Google

Seria conveniente hacer el mastic como se ha esplicado para los casos anteriores; pero en este podrá emplearse y saldria mas barato el compuesto de alquitran de hulla, cal viva en polvo y arena, pues está preservado del aire esterior.

En esta disposicion se echa el mastic fundido entre las juntas, macizando con ripio y enrasando la superficie con una segunda capa de mastic cuando está ya bien sentada la primera.

Los adoquines preparados para estas operaciones deben estar muy limpios y secos. Al cabo de algunas horas pueden ya sacarse los trozos de sus cajas apilándolos con precaucion para que no se deformen, y para hacer el empedrado se les coloca dejando entre sí juntas de 1,5 centímetros sobre un afirmado de unos 5 á 6 centímetros, cuya superficie se cubre con 2 centímetros de arena y se nivela con un reglon apoyado sobre otras dos reglas; se afirman dando sobre los adoquines con un mazo y se echa el mastic entre las juntas hasta llegar á unos 3 centímetros de la superficie.

Las demas juntas se han mantenido vacías hasta la misma profundidad por medio de la arena que se ha echado cuando se preparan los adoquines, y se concluye de llenar las juntas paralelas al eje de la calle; las demas no deben estarlo sino hasta unos 5 milímetros bajo la superficie de los adoquines.

Es necesario, como se ha indicado ya, que la superficie del firme sea bien plana y que los trozos de adoquines tengan el mismo grueso.

Cuando no se necesite que el empedrado sea muy impermeable se puede dejar de llenar completamente las juntas entre los trozos, y se introduce arena fina hasta dejar unos 3 centímetros, que se acaban de llenar con el mastic. En este sistema se necesita que tenga el empedrado un grueso de unos 15 centímetros.

Aplicacion del sistema anterior: sus ventajas é inconvenientes.

El viaducto de Sanmur sobre el camino de hierro de Tours á Nantes se afirmó con enlosado, uniendo las juntas con mastic colocado sobre una capa de arena de un centímetro de espesor, no habiéndose necesitado revestimiento de mortero en la bóveda, y

Digitized by Google

despues de tres años de circulacion se conserva en perfecto estado.

Las reparaciones en este sistema son dificultosas y los firmes construidos resultan caros (12 á 15 francos metro cuadrado), por lo que en general es mejor el Mac-Adam bituminoso; sin embargo tiene buenas aplicaciones en algunos casos que vamos á indicar.

En pasos subterráneos y menos espuestos á infiltraciones se ha aplicado con ventaja en el mismo camino de hierro. El enlosado unido por el mastic puede emplearse tambien para revestir las paredes de estanques: cuando no esceda de $0^m,50$ de profundidad, será suficiente este revestimiento; cuando pase de esta altura, se construirá muro de mampostería y se revestirá con el enlosado.

Tambien se pueden construir los revestimientos de ladrillos unidos por mastic y recubiertos con el mismo. Tambien se ha aplicado este empedrado en pavimentos de cuadras.

Las chapas asfálticas sobre afirmado de piedra machacada, como se describió al principio, han tenido muy buena aplicacion para el piso de los puentes. El verificado en el puente de Sánmur estaba al cabo de nueve años en buen estado, sirviendo de preservativo para las filtraciones y evitando el tener que construir el revestimiento de hormigon que se pone con este objeto, y que está espuesto á agrietarse con las oscilaciones, lo cual no sucede con el asfaltado.

Hay que cuidar en la construccion de asfaltados, que su union con las paredes esté preservada, pues de otro modo por ella se verificarian las filtraciones.

En los puentes de madera no es conveniente el empleo del asfalto en caliente ó chapa, pues los movimientos á que están sujetos darian lugar á que se agrietara. En las aplicaciones para el uso de peatones se evita este inconveniente haciendo independientes las maderas y enchapados, interponiendo una tela poco tupida ó una capa delgada de arena fina; pero esta precaucion no seria suficiente en un afirmado destinado al tránsito de caballerías y carruajes. Podria en este caso colocarse las viguetas muy juntas ó poner un mullido de piedra machacada, pero aumentaria la carga y coste estraordinariamente. Con el Mac-Adam bituminoso aplicado en frio,

Digitized by Google

no se necesita mullido y cede con facilidad volviendo á su forma primitiva, y preservando al mismo tiempo el tablero de la humedad.

En los puentes de poco tránsito y tambien en los puentes colgados se pueden dar á brocha varias capas de mastic, segun se esplicó para la conservacion de estos firmes, debiendo construir en este caso el tablero de encina ó pino del Norte. Se ha probado dar varias capas de mastic á brocha sobre un firme comun, pero se destruyó facilmente.

Dice Coulaine que á pesar de las precauciones y gastos que se hagan en el empedrado comun de las calles muy concurridas, al cabo de cierto tiempo se degradan considerablemente hundiéndose las aristas de los adoquines, redondeándose y formando baches. Esto consiste principalmente en que los adoquines son independientes entre sí y la rodadura no ejerce sobre cada uno la misma accion, sea por su defecto de homogeneidad, sea por la diferencia de dimensiones y la posicion de sus centros de gravedad y desigual compresibilidad del suelo; así, por mucho cuidado que se tenga en la eleccion de material, labra y colocacion, no se puede producir asiento igual; las aristas de los adoquines que se hunden menos, no estando protegidos por los inmediatos, se rompen y se redondean.

Por esto la sustitucion del asfalto traeria muchas ventajas, pudiendo utilizarse el material de los empedrados en la construccion del mullido. El costo se ha visto que es (en Paris) por metro cuadrado de Mac-Adam bituminoso de 4 centímetros de espesor, de 11 francs. 27 cénts. á 6 francs. 19 cénts., y los adoquinados comunes cuestan de 9 á 10 francs. y los perfeccionados 15 á 16 francs.; ademas los firmes asfaltados presentan la ventaja de mayor duracion; no necesitan para sus reparaciones entorpecer el tránsito; se conservan muy lisos sin ser resbaladizos y son mucho mas suaves que los mejores afirmados comunes; no producen apenas ruido, lo que es ventajoso para el vecindario y la conservacion de los edificios; preservan el suelo de humedad y se desgastan lentamente, no produciendo lodo ni polvo.

Digitized by Google

Ademas parece prestarse perfectamente esta clase de firmes para la aplicacion de locomotoras á los caminos comunes.

SÉTIMA SECCION.

OBSERVACIONES RELATIVAS A LAS OBRAS QUE SE CONSTRUYEN EN LAS CARRETERAS PARA EL PASO DE LOS RIOS, ARROYOS, ETC., EDIFICIOS Y DEMAS ACCESORIOS DE ELLAS.

Diferentes clases de obras que se construyen.

Hemos dado á conocer el modo de construir las diferentes obras que constituyen las esplanaciones y el afirmado de las carreteras; pero ademas hay otras indispensables para el paso de los rios ó arroyos, y en general para salvar depresiones del terreno, bien sea que por ellas corran las aguas ó para sustituir en algunos casos á los grandes terraplenes. Estas obras son los puentes, pontones, alcantarillas, tajeas y badenes y los viaductos.

Los edificios necesarios para el servicio de las carreteras son las casas de portazgo ó pontazgo para percibir los impuestos del tránsito, y las casillas de peones camineros. Para señalar las distancias se construyen las leguarias; para indicar la direccion de dos carreteras que se desvian desde un punto, se colocan los llamados *postes ó pilas indicadoras.*

En los sitios muy espuestos á fuertes nevadas, como sucede en los puertos ó páramos, se levantan postes ó pilares, que sirven de guia al viajero durante la permanencia de aquellas en el camino.

En las obras que se construyen como accesorias de una carretera se incluyen los guarda-ruedas que se colocan en los terraplenes ó inmediaciones de las avenidas de un puente, en el primer caso con el objeto de que no se aproximen á la orilla los carruajes ó caballerías evitando así desgracias. Los malecones que se sustituyen, cuando es posible, á los guarda-ruedas en los terraplenes ó laderas,

Digitized by Google

tienen el mismo objeto, y la ventaja de ser mas baratos, aunque ocupan mayor espacio. Los pretiles, tanto cuando se construyen en los puentes como en los costados del camino en paises de montaña, tienen tambien el objeto indicado.

Hay obras que pueden llamarse de ornato y comodidad, como son los arbolados que se plantan en las márgenes de un camino, y las fuentes y abrevaderos. Estas se construyen tambien con el objeto de aprovechar los manantiales que se encuentran al ejecutar las carreteras, proporcionando de este modo un beneficio á los pasageros.

Para proyectar y construir los puentes, pontones, etc. se necesitan conocimientos especiales de mecánica y de construccion, que no son del objeto de este tratado; así es que solo haremos algunas ligeras observaciones relativas á la eleccion de la clase ó sistema mas conveniente y á los materiales de que se forman, y asimismo sobre la construccion de los edificios que se han espresado anteriormente, indicando algunas circunstancias que deben tenerse presentes relativamente á los demas objetos accesorios.

Los puentes, pontones, etc. y los edificios y demas que se construyen en las carreteras, se distinguen generalmente con el nombre de obras de *fábrica* y á veces obras de *arte*; pero ninguno de estos nombres satisface completamente á la idea del conjunto de estas obras.

Puentes, pontones, etc.: eleccion de materiales y sistemas.

La eleccion del material de que ha de construirse un puente, ponton, etc. es una de las circunstancias principales de que depende la solidez y economía de la obra; así es que ha de estar fundada dicha eleccion en la magnitud de la obra, su objeto, clima y proporcion de adquirir los materiales, bien sean procedentes de fabricacion ó naturales, á precios mas ó menos bajos.

En general serán mas sólidas y convenientes las obras de piedra que las de metales ó maderas y entre las primeras las que se compongan de piedras de gran tamaño (sin esceder ciertos límites), que las de pequeños materiales; y tambien las obras de ladrillo serán preferibles en algunos casos á falta de piedra.

Digitized by Google

El construir las obras de sillería cuando hay escesivo aumento de precio, es un *lujo* de que no debe abusarse, porque en las obras públicas deben tenerse muy presentes los preceptos de *sencillez y economía*, siempre que sean conciliables con la solidez *necesaria*; así es que se combinan con este objeto la sillería y mampostería, colocando la primera en los puntos que exigen mayor resistencia y de este modo se concilian aquellos preceptos.

A veces será necesario emplear maderas ó metales para la construccion de puentes á pesar de tener á menos precio las mamposterías, lo cual sucederá cuando haya que salvar grandes espacios y no sea posible ó sea dificultoso el verificarlo con los arcos de sillería ó mampostería, por la gran luz que exijan ó por la dificultad de verificar las fundaciones de las pilas.

Debe tambien evitarse el construir estas obras decoradas con molduras ú adornos complicados, pues solo es aceptable la decoracion que produce la buena combinacion de los materiales y las fajas ó impostas sencillas.

En cuanto á la forma de los arcos debe adoptarse aquella que sea mas á propósito para la solidez de la obra sin dejarse llevar del deseo de verificar obras atrevidas é innecesarias: así es que cuando sea posible convendrá mejor emplear el arco de medio punto que el rebajado.

El empleo de algunos sistemas de puentes de madera es arriesgado, pues generalmente en España no puede disponerse de maderas bien curadas. En este caso están los sistemas de arcos compuestos de piezas de madera sobrepuestas unas á otras como en el de Emy, en el cual los muchos puntos de contacto ó juntas que hay entre las maderas hace que se interponga la humedad entre ellas y las destruya fácilmente, como se ha verificado en algunos casos á pesar de estar construidas las obras con esmero. Los puentes del sistema americano de enrejado ó celosía tambien han tenido malos resultados en España.

Los diversos sistemas de puentes metálicos colgados ó fijos, pueden tener buena aplicacion en muchos casos, cuando hayan de

Digitized by Google

construirse grandes tramos ó las márgenes de los rios sean muy bajas; pero debe meditarse bien su empleo. Los puentes tubulares de vigas huecas de palastro, han empezado á recibir bastantes aplicaciones en España para los caminos de hierro, y empiezan á adoptarse en algun caso para las carreteras, por su fácil colocacion. La circunstancia de ser necesario encargar su ejecucion en Inglaterra, puede hacer que sea costoso este sistema en algunos puntos. Los puentes formados de cuchillos de hierro fundido pueden en algunas ocasiones tener ventajoso empleo, pero en general, siendo necesario fabricarlos lejos del punto en donde han de ser construidos, se dificulta y complica mucho su ejecucion.

Cuando haya de elejirse entre los diversos sistemas de puentes metálicos, será útil consultar una Memoria del ingeniero Molinos sobre la comparacion de estos, cuya traduccion se inserta en la *Revista de obras publicas*, números 5.° y 6.° del presente año.

Badenes.

Los *badenes* que suelen construirse en las carreteras para que pasen las aguas por una parte baja, como sucede en el encuentro de una pendiente y una contrapendiente, son obras que deben evitarse siempre que puedan sustituirse por alcantarillas ó tajeas, pues son molestos para la circulacion y nunca es conveniente que atraviesen las aguas por encima del camino.

Casas de portazgo ó pontazgo.

La situacion de una casa-portazgo se fija segun el número de leguas por las que determine la administracion deben cobrarse los impuestos, pero ademas su eleccion depende de los puntos á que vengan á empalmar caminos de uno ó varios pueblos, y por los cuales pudiera haber *estravio* ó evadir el pago los pasageros; sin embargo algunas veces no pueden situarse en estos puntos por otras consideraciones y se establece en ellos un ordenanza.

El sitio en que se construya la casa debe elegirse de modo que satisfaga á las condiciones de salubridad, y ademas que se halle situada en la márgen del camino y á nivel del mismo, pues seria muy molesto el tener que subir ó bajar continuamente para percibir

Digitized by Google

los derechos. Los puntos elevados de las carreteras son los que generalmente satisfacen mejor para la situacion de un portazgo, siempre que sea conciliable con las demas circunstancias, En cuanto á los pontazgos está dada su situacion por los puntos de las márgenes en donde termina el puente. Las casas destinadas para portazgos ó pontazgos deben construirse sin lujo arquitectónico, debiendo reducirse la decoracion esterior á la que resulta de la buena proporcion entre los macizos y vanos del edificio y la combinacion de los materiales en las fachadas; sin embargo el empleo de las fajas ó resaltos podrá ser de buena aplicacion cuando se construyan estos edificios en la proximidad de un pueblo de importancia, y se quiera por esta causa decorarlos con mayor esmero; pero ni aun en este caso será conveniente emplear órdenes de arquitectura. El ladrillo ó mampostería son los materiales que comunmente se emplean para la construccion de estos edificios; la sillería solo debe emplearse cuando sea muy barata, ó en los zócalos ó puntos de mayor resistencia, como en los ángulos etc., y en este caso de su combinacion con las mamposterías puede resultar una buena decoracion. En general estas obras deben satisfacer á los preceptos de *solidez y economía,* con mas razon en España en que tan escasos son los recursos para atender á las obras públicas, y seria chocante el gastar inútilmente en la decoracion de estos edificios. Hay ocasiones sin embargo en que se escede de los límites de una economía prudente por la escasez de fondos, construyéndolos de materiales poco sólidos y de mezquinas proporciones.

La distribucion del edificio y sus dimensiones deben ser suficientes para que puedan habitar con la separacion necesaria todos los empleados; pero sin esceder de las verdaderas necesidades á que ha de satisfacer, pues el cubo de materiales crece mucho cuando se aumenta el área de la planta: un área de unos 100 metros cuadrados podrá ser suficiente para distribuir en ella las habitaciones de administrador, interventor, mozo de barrera y ordenanza, en una planta baja que es de la que solo constan estos edificios. Una parte accesoria de estas casas es el cobertizo ó soportal que suele desti-

Digitized by Google

narse para percibir los derechos. En algunos casos se han empleado columnas ó pilastras de sillería con un órden de arquitectura, lo cual es un gasto inútil; los pilares de ladrillo ó postes de madera son suficientes. En puntos donde pueda obtenerse la fundicion á bajo precio, podrán emplearse apoyos huecos de hierro, ó bien podrán *colgarse* estos cobertizos con tirantes, que es un medio económico, ó sostenerse con palomillas de hierro ó madera, pues no se necesita que tengan demasiado vuelo.

Casillas de peones camineros.

Las casillas destinadas para habitacion de los peones camineros deben estar situadas en los centros ó distancias medias de las leguas que tengan á su cargo, ó al menos en la parte mas próxima posible de ellos. Es conveniente colocarlas en los puntos de divisoria, tanto para la salubridad, como para que desde ellas pueda descubrirse mayor distancia de la carretera; cuando hay desmontes, pueden situarse en el terreno elevado de los costados de este; pero cuando su situacion corresponda en un sitio en donde haya terraplen, habrá que variar su posicion buscando el punto mas próximo en el terreno llano ó en el desmonte.

Estos edificios deben satisfacer igualmente á los preceptos de la economía que se han indicado relativamente á las casas de portazgo y pontazgo. En cuanto á su estension bastará un área media de 20 metros cuadrados, cuando esté destinada para un peon.

Almacenes.

Tambien son necesarios algunas veces en las carreteras almacenes destinados á depositar las herramientas ó efectos pertenecientes á las obras; pero en estos casos suelen alquilarse locales en los pueblos para este efecto, ó destinarse alguna habitacion para el mismo en las casas de portazgos ó de los peones camineros.

Leguarias y señales kilométricas.

Las leguarias pueden tener formas muy variadas pero en general deben ser sencillas; su forma suele hacerse con arreglo á modelos especiales aprobados por la Direccion general de obras públicas. Los materiales de que suelen construirse son la sillería, mam-

Digitized by Google

postería ordinaria ó el hierro hueco, pues el ladrillo y la madera tienen mala aplicacion en estas obras aisladas y de pequeñas dimensiones. La forma prismática rectangular con zócalo ó base y una faja y sombrerete, es una forma conveniente para cuando se emplea sillería; tambien se hacen pirámidales de cuatro caras, ó poligonales sobre un zócalo, las que hacen buen efecto cuando se dan las proporciones convenientes; esta forma es la que se adopta generalmente cuando se construyen de fundicion, en cuyo caso se pintan al óleo de color blanco, tanto para preservarlas de la humedad, como para que destaquen de los demas objetos. Suele darse á las leguarias una altura de medio metro en el zócalo y al resto 2 metros. La numeracion de la legua debe estar en dos costados para que se vea en las dos direcciones.

Pilastras indicadoras.

Las señales ó marcas kilométricas son mas pequeñas que las leguarias, y pueden reducirse como en Inglaterra y Francia á un prisma rectangular ó triangular de un metro de altura. En las intersecciones de dos carreteras se colocan las pilastras que indican el punto principal adonde se dirigen. Puede ser su forma análoga á la de las leguarias, solo que en este caso suelen hacerse de mayores dimensiones. El nombre de la capital ó punto indicado se escribe en el costado correspondiente.

Guias.

Los postes ó *guias* para los sitios espuestos á grandes nevadas deben hacerse sólidos, pero de muy poco costo; basta colocar pilares toscos de sillería en los puntos en que esta abunde, prismas de mampostería, postes de madera ó troncos de árboles descortezados. Su altura debe esceder bastante de la mayor á que comunmente lleguen las nieves, para poderlos ver desde grandes distancias, y en los puntos en que la carretera tenga muchas inflexiones, como sucede en las montañas, deben ponerse en todos los vértices ó puntos de cambio de direccion.

Digitized by Google

Guarda-ruedas, malecones y pretiles.

La colocacion de guarda-ruedas, debe ceñirse á los puntos puramente indispensables, como no sea en paises abundantes de piedra; del empleo de estos se ha abusado en la ejecucion de las carreteras construidas antiguamente en España, invirtiendo sumas de consideracion, tanto por el gran número empleado como por su labra esmerada, cosa inútil en esta clase de objetos. En los terraplenes elevados pueden sustituirse á los guarda-ruedas los malecones construidos de tierra, y cubiertos de tepes para conseguir su mayor duracion.

En los caminos abiertos en ladera suele ser indispensable, para la seguridad de los pasageros, el construir obras de defensa en las márgenes del lado de la caida; en este caso no tienen buena aplicacion los malecones por el mucho espacio que ocupan y suelen colocarse guarda-ruedas toscamente labrados, separados de 2 en 2 metros ó á mayores distancias; tambien suelen construirse pretiles cuando la mampostería es abundante y en este caso para que sea mas económica su construccion se hacen interrumpidos por trozos de 2 metros de longitud próximamente, separados por un intervalo de la misma distancia ú otra segun convenga; á veces en estos intervalos suelen colocarse guarda-ruedas.

Arbolados.

La plantacion de los árboles en las carreteras, tiene el objeto no solo de embellecerlas y formar alamedas y paseos en la proximidad de las poblaciones, sino también el de preservar de la accion del sol á los viajeros y guiarlos de noche ó en tiempo de nevadas en el camino que deben seguir; tambien preservan el firme de la accion del sol, lo cual es conveniente en los climas cálidos.

Pueden tener el inconveniente de conservar demasiada humedad en el firme en los sitios espuestos á frecuentes lluvias ó que estén poco ventilados, como sucede en las carreteras construidas en los valles ó sitios bajos del terreno. La objeccion hecha por algunos á la plantacion de árboles en las carreteras, por creerlos perjudiciales para la seguridad de los viageros, en razon á poderse esconder detras de ellos malhechores, es poco fundada, y no debe retraer para su plantacion.

Digitized by Google

Los árboles pueden colocarse en las carreteras en la solera de las cunetas, ó en el borde superior de estas, bien sea hácia la parte interior ó á la esterior del firme; tambien suelen ponerse en la parte esterior del paseo ó de ambos lados. En el primer caso tienen la ventaja de poderse regar mejor, pero interceptan el paso de las aguas; cuando se ponen en el borde de las cunetas puede conseguirse el riego conveniente sin la esposicion indicada y en este caso es mejor el colocarlos en la parte situada hácia el esterior, porque en el interior interrumpen la caida de las aguas del firme á las cunetas. En los terraplenes se colocan en el borde para que fortifique esta parte sus raices, y sirven al mismo tiempo para la seguridad del tránsito.

La distancia que debe quedar entre los árboles, depende de la clase de estos y crecimiento de sus ramas; se colocan generalmente al *tresbolillo*, es decir, que los de un lado del camino correspondan á los puntos medios de los espacios en el lado opuesto. La clase de árbol que se elija, debe ser aquella que dé un pronto crecimiento, proporcione sombra conveniente y adquiera suficiente altura para que sus ramas no tropiecen en los carruajes mas elevados y proyecten la sombra á mayor distancia; así es que en general se plantan álamos, chopos ú otros análogos.

No nos detendremos en esplicar el conocimiento de las calidades de los árboles y de los modos convenientes de plantarlos, tanto en las carreteras como en los viveros ó criaderos, refiriéndonos á los artículos publicados sobre este objeto en la *Revista de obras públicas* de 1853 y 1854, en los cuales se esplican las diferentes circunstancias que deben tenerse presentes, arregladas á nuestros climas; tambien puede consultarse los *Anales de puentes y calzadas de Francia* de 1851, en que se insertan las instrucciones y pliegos de condiciones para las plantaciones en las carreteras; del mismo modo podrá ser útil el tratado sobre plantaciones en carreteras publicado en Francia por Mr. Breuil en 1850.

Digitized by Google

Digitized by Google

TERCERA PARTE.

CONSERVACION DE LAS CARRETERAS.

PRIMERA SECCION.

Consideraciones generales.

Qué se entiende por conservacion: partes de que consta ó sus divisiones.

Se designa con el nombre de *conservacion* de una carretera las diferentes operaciones que se ejecutan para mantener su piso ó superficie en estado de viabilidad conveniente, y no dejar deteriorar las obras que se construyen en ella.

Para satisfacer á estas condiciones hay que conservar el *firme* y las *obras* de *tierra*, que contribuyen tambien en gran parte á sostener la viabilidad indicada. Los puentes, pontones, etc., es necesario que se *conserven* transitables y que no haya esposicion á que se destruya alguna parte, por cuya causa se interrumpiese la circulacion ó se comprometiese la seguridad de los viageros. Las demas obras tambien necesitan repararse oportunamente, pues si esto no se verificase llegarian á destruirse.

Se ve segun lo espuesto, que debe establecerse cierta division en las operaciones de conservacion de una carretera, y se admite la de *conservacion* del *firme*, de las *obras de tierra* y de las obras de *fábrica*.

Los deterioros que sufre el firme por la circulacion son: las *roderas*, *rodadas* ó *carriladas*, pues se da indiferentemente todos

Digitized by Google

estos nombres; las depresiones ó *baches*; el salirse las piedras de su sitio y el polvo y lodo que se forma con los detritus del firme mismo y de materias acarreadas por el tránsito ó por el viento.

Para remediar estos efectos en el firme ó *conservarle*, hay que verificar varias operaciones que son: reparar las rodadas y rellenar los baches, ó *bachear*; quitar las piedras que salen de su sitio, ó *descantar*; limpiar el polvo ó lodo, ó *desenlodar*, y ademas *picar* el hielo y *espalear* las nieves.

La *conservacion* de las obras de tierra se compone de las operaciones necesarias para mantener las cunetas de modo que las aguas corran sin obstáculo limpiándolas, á cuya operacion se llama *desembrozar*, y rectificándolas. Los paseos se *recargan*, *recrecen* y *rectifican*. Los puentes, pontones, alcantarillas y tajeas se *limpian* y se mantiene en ellos espedito el curso de las aguas; se reparan tambien los edificios y demas obras cuidando de mantener su solidez y buen aspecto. En los arbolados y plantíos es necesario igualmente atender á los cuidados que exige su crecimiento y su direccion.

Hechas estas ligeras indicaciones respecto á las operaciones que comprende la conservacion de las carreteras, esplicaremos los diferentes sistemas que se emplean; las causas y efectos de los deterioros y los métodos que se siguen para remediarlos ó precaverlos, tratando con alguna estension de los *gastos* que se originan para conservar una carretera, su *valuacion* y cuestiones á que dan lugar.

Diversas cuestiones de que se tratará, relativas á la conservacion de carreteras.

El exámen de la influencia que pueden tener los carruajes y caballerías en el deterioro de los firmes, segun las circunstancias en que se encuentren y las cuestiones á que estas dan lugar para el establecimiento de portazgos, ofrece un gran interes, por lo que se indicarán algunas investigaciones verificadas sobre los objetos indicados.

Como medio de formarse idea mas exacta relativamente á las ventajas é inconvenientes de los diferentes sistemas de afirmados, tanto en la parte relativa á su construccion como á su conservacion,

Digitized by Google

se describen los de varias capitales de Europa dando á conocer la opinion formada por personas competentes relativamente á ellos. Por último, nos ocuparemos de la organizacion del servicio de carreteras, tanto en España como en otros paises.

Conservacion permanente de los firmes ordinarios ó de piedra partida.

Degradaciones del firme, causas y efectos.

Uno de los efectos inmediatos del tránsito de los carruajes sobre un firme es el producir *roderas*, las cuales se forman por la accion de las ruedas de aquellos. Estas roderas serán tanto mas profundas, cuanto mas pesadas sean las cargas y mas estrechas las llantas; dependerá tambien del sistema y esmero de construccion del firme y su consolidacion, y del estado de sequedad ó humedad de la caja.

El efecto que producen las ruedas al formar las carriladas puede ser el de hundir las piedras ó el de aplastarlas ó hendirlas, y tambien el hacerlas salir de su sitio echándolas á los costados.

Los *baches* son unos hoyos mas ó menos profundos que se forman en el firme y pueden producirse por la desigualdad de asiento de su base, ya sea en los terraplenes, ó ya en la solera en los desmontes, á causa de la calidad del terreno ó de la humedad; por la desigual resistencia del material ó poco grueso del firme y en algunos casos resultando de la combinacion de varias ó de todas estas causas reunidas. Se forman generalmente con mas frecuencia en los llanos que en las pendientes. Los efectos se producen generalmente por la presion y rozamiento de las llantas de los carruajes y los pies de las caballerías.

Cuando no se acude en tiempo oportuno á reparar los baches y roderas, se aumentan y convierten por fin en verdaderos hoyos, en donde los carruajes están espuestos á volcar, produciendo ademas deterioro en estos y mal movimiento, mayor fatiga en las caballerías y por consiguiente entorpecimiento en la circulacion, molestia á los viageros y mayores gastos en los trasportes.

Ademas de los efectos indicados produce la circulacion el des-

Digitized by Google

gaste del firme, haciendo por consiguiente disminuir continuamente su grueso. En las diferentes degradaciones que tienen lugar en un firme, influyen con mas ó menos intensidad las causas atmosféricas; así es que en el invierno puede ceder el material con mas facilidad bajo la presion de los carruajes, produciéndose baches y rodadas en mayor número que en tiempo seco; despues de las heladas se verifican tambien mayores deterioros en el firme. En estos casos el material se desune y pueden ejercer por esta causa mayor accion sobre él los carruajes y caballerías; por esto en el verano resisten mejor los firmes que en el invierno á las grandes cargas. Al hablar de la influencia ó accion de los carruajes y caballerías sobre los firmes, se indicarán varias cuestiones relativas á la que pueden tener la forma y dimensiones de las diferentes partes de los carruajes en los deterioros que sufre el afirmado.

Sistemas de conservacion.

Los diferentes sistemas de conservacion que se adoptan en las carreteras se reducen á tres clases que son: el de *conservacion permanente*, el de *conservacion periódica* ó *reparacion* por medio de recargos, y el *sistema misto* que proviene de la combinacion de estos.

El primero consiste en remediar oportunamente ó á medida que se forman, los desperfectos de todas las obras. El segundo en verificarlo en épocas mas ó menos lejanas, pero no contínuas, y el tercero en adoptar para cierta clase de efectos la conservacion permanente y para otros las reparaciones en periodos determinados.

Reparacion de las roderas ó *roderado.*

Hemos visto los efectos producidos por las ruedas al formar las roderas y entre ellos el hacer que la piedra salga á los costados y forme *rebordes*, efectos que se verifican con mas frecuencia en los firmes nuevos; esta piedra se restituye á su sitio con la rastra de hierro ó *rastrillo de dientes*, que se esplicará luego, teniendo cuidado de no mezclarla con el polvo ó lodo. Generalmente se va macizando la piedra con el hierro del mango del azadon ó rastrillo; pero de este modo se estropean las herramientas y es mas conve-

Digitized by Google

niente el uso del pison para afirmarla, para lo cual debe dejarse algo saliente con el objeto de que despues de macizado queden los reparos á la altura ó nivel del resto del firme. Hay ingenieros, y entre ellos Berthault Ducreux, que no consideran el uso del pison conveniente por no producir el efecto que se desea; sin embargo, por este medio se coloca mejor en su sitio el material, y se consigue que pueda resistir mas á la accion de las ruedas de los carruajes y pies de las caballerías.

La piedra nueva que se eche para reparar las faltas de las roderas tiene que ser de pequeño tamaño, es decir, como el que se ha indicado para la capa superior del firme. Tambien este material nuevo es conveniente macizarle como se ha dicho antes y recebar sobre él, en caso que su clase lo exija; en fin, se toman todas las precauciones que se indicarán para los bacheos y se ejecutan en las estaciones y épocas que para estos se espresan.

Cuando un firme está recien construido ó recargado y se entrega á la circulacion, es cuando se forman con mas facilidad las rodadas y exige mayor vigilancia para repararlas.

Bacheos.

Los baches se deben *rellenar* ó cubrir así que llegan á tener la profundidad necesaria para que la piedra que se echa en ellos pueda colocarse convenientemente, sin formar partes muy salientes en la supercie del firme, lo cual se verifica cuando tienen ya de 3 á 4 centímetros próximamente de profundidad.

Si para la construccion de los firmes es conveniente que sea la piedra *angulosa*, con tanto ó mas motivo debe serlo para rellenar los baches, para que pueda unir ó trabarse del modo conveniente; así es que la piedra debe estar bien machacada y ser de pequeño tamaño, en particular cuando sean materiales duros. Este tamaño será el que se ha designado para la última capa del firme ó mas pequeño todavía segun su clase ó la profundidad del bache.

Algunos ingenieros exigen un esmero grande para bachear, prescribiendo *picar* el fondo del bache, limpiándole bien, apisonar la piedra y regar despues de empleada y recebada, ó tambien antes

Digitized by Google

de esta operacion. Hay otros que no conceptuan necesario *picar* el fondo del bache, pues aun suponiendo que sea mayor el efecto producido, no compensa el gasto que causa esta operacion; hay sin embargo, algunas ocasiones en que podrá convenir picar el fondo y bordes del bache, como sucede cuando está muy lisa y dura la superficie y es poco profundo, en cuyo caso puede tener demasiada movilidad la piedra y salirse con mas facilidad de su sitio si no se toma esta precaucion.

Aunque haya algo de lodo en los baches, con tal que esté blando, no importa echar la piedra sobre él sino pasa de un centímetro próximamente de grueso; pues en este caso no hay cantidad suficiente para esceder los límites que pueden tolerarse para los detritus. Conviene cuando se emplean materiales duros, como sucede con las piedras silíceas, recebar el bache siempre que el material menudo ó detritus que contenga la piedra no sea escesivo; con las calizas, segun se dijo al tratar de la construccion, no suele ser conveniente el recebo, pues hacen muy pronto clavo, y se forma el detritus suficiente con su desgaste. La clase de recebo que debe emplearse es el mismo que se indicó al hablar de la construccion del firme, y del mismo modo debe emplearse solo el indispensable para igualar la superficie ó á *tapa canto*.

Las estaciones mas convenientes para verificar los bacheos son el otoño ó invierno y la primavera, cuando llueve lo suficiente para que haga pronto clavo la piedra. En el verano no debe verificarse este trabajo como no sea en caso urgente, aprovechando alguna lluvia ó regando si es posible, pues con la sequedad no unen los materiales, se esparcen por la accion de las ruedas y pies de las caballerías ó animales de tiro, y hay que volverlos á su sitio continuamente, ó separarlos para tiempo oportuno, lo cual produce esceso de gasto. En los paises de montaña suele haber épocas, aun en verano, en que puede bachearse y en mucha parte del invierno no puede efectuarse por las escesivas lluvias ó nieves. El tiempo de heladas y deshielos es perjudicial para verificarlo, porque los materiales no unen bien y se desperdicia mucha parte.

Digitized by Google

Suele haber la costumbre de regularizar el perímetro del bache haciéndole rectangular ó de formas mas regulares que las que naturalmente tiene. Esta costumbre creemos que no conduce en la mayor parte de los casos sino á gastar mas tiempo y material del necesario, y quitar cierta porcion de firme en que estaba ya trabada la piedra, sustituyéndola por otra en peores condiciones.

Como aconsejan algunos ingenieros, conviene que los bacheos se hagan alternadamente, es decir, no verificándolo en todo el ancho de la carretera á la vez, sino por *piezas* en distintas direcciones; de este modo se obliga á las caballerías á marchar en distintas direcciones tambien y se descompone menos el firme.

Medida de los *bacheos* y datos prácticos.

La medida de la cantidad de obra verificada para reparar las roderas ó baches, suele verificarse por la estension superficial; es decir, por los metros cuadrados que forma la figura que resulta en la superficie del firme, despues de empleada la piedra. El principal objeto es el de saber la obra que verifican los peones; pero se comprende bien que no es el medio mas conveniente de verificar la medida, pues no da idea de la *cantidad de material* invertido, que es un dato esencial para averiguar el costo. La estension superficial que un operario podria bachear en un tiempo dado, depende de la profundidad de los baches, cantidad que es muy variable. Determinar el volúmen de piedra empleada en un tiempo dado, es la verdadera medida de la obra hecha por el peon, y da cuenta exacta al mismo tiempo del material gastado.

Ademas de lo indicado antes resulta que la medida superficial de los bacheos es muy difícil ó casi imposible de verificarla siquiera con alguna exactitud, por las complicadas figuras que resultan de la forma de los baches, y si se quiere hacer con alguna aproximacion, hay que perder mucho tiempo; estas circunstancias son mas notables, porque generalmente se verifica la operacion por peones camineros ó capataces; por consiguiente se obtiene por este método una medida inexacta, ó pérdida de tiempo considerable.

Segun nuestros datos, en un jornal de 10 horas de trabajo, un

Digitized by Google

peon buen trabajador puede emplear en bacheos 5 metros cúbicos de piedra picando él mismo los bordes del bache.

Revocado del firme.

Cuando las depresiones del firme son muy pequeñas y el empleo de material es en corta cantidad, solo para igualar la superficie, se da generalmente en este caso á la operacion el nombre de *rebocar* el firme.

Desgaste del firme.

Como se ha indicado ya, el firme se desgasta casi en toda su estension por el tránsito, ademas de verificarse en él las degradaciones que se han esplicado antes; por consiguiente, para que se mantenga con el grueso que debe tener segun se ha dicho al hablar de su construccion, necesita reponerse este desgaste, bien sea contínua ó periódicamente, ademas de la conservacion permanente á que dan lugar los demas efectos. Cuando se trate del sistema de conservacion misto, se examinarán los diferentes modos de verificarlo, y en la seccion relativa á los gastos de conservacion se tratará detalladamente de la valuacion del desgaste, etc.

Descantado y remachaqueo.

Las piedras del firme suelen salirse de su sitio por efecto de la circulacion; esto tiene lugar en los firmes nuevos ó recien recargados y mas frecuentemente cuando se ha empleado material en tiempo seco, pues entonces no unen y se desagregan con facilidad. Estas piedras deben recogerse, á cuya operacion se llama *descantar*, y se amontonan ó apilan en los paseos ó márgenes del camino.

Cuando los firmes se han construido de piedra gruesa, como sucedia en las carreteras antiguas, y hay que restaurarlos, se necesita partir las que sobresalen, que se llaman *calaveras*, por medio de las almadenas ó de la maza, operacion á que suele darse el nombre de *remachaqueo*.

La estension de *remachaqueo* que puede ejecutar un peon es muy variable, pues depende de la calidad de la piedra que hay que partir. En algunas carreteras en que hemos hecho la observacion

Digitized by Google

sobre este trabajo y en las cuales las calaveras eran de piedra caliza, un peon recorria de 10 á 20 metros lineales de firme de 7 metros de ancho en 10 horas de trabajo. El costo de compostura de herramientas ascendia á 9 mrs. por jornal.

Estraccion de lodo y polvo.

Una de las operaciones que tienen lugar en la conservacion de un firme es la de limpiar ó estraer el polvo y el lodo que se forma; son producidos por el desgaste del firme y tambien, aunque en menor escala generalmente, por las materias acarreadas en las llantas de los carruajes, por el viento ó por las aguas de lluvia.

El polvo y el lodo que este desgaste forma, molesta para el tránsito cuando es abundante y ademas de esto perjudica para la buena conservacion del firme, en razon á que produce mayor cantidad de detritus que el que conviene se mezcle con la piedra; conserva la humedad, lo cual cuando es con esceso perjudica tambien; y, por último, dejando las ruedas impresion en el polvo ó en el lodo, las caballerías tienen la tendencia á seguir la misma huella desgastándose con mas desigualdad el firme por esta causa y produciendo roderas.

Hay ingenieros y entre ellos Berthault Ducreux, que opinan debe quitarse solo el polvo ó el lodo que pueda incomodar demasiado á la circulacion, siendo perjudicial el quitarle con mucha frecuencia, pues deja la piedra descubierta pudiendo así actuar mas directamente los carruajes y caballerías sobre ella y destruirla; al mismo tiempo sucede que pasando muchas veces sobre el firme los útiles que sirven para limpiarle, pueden desagregar la piedra y estropearle.

Otros ingenieros, por el contrario, hacen depender gran parte del éxito de una buena conservacion, en quitar esmeradamente el lodo y el polvo; Dumas es el ingeniero mas exagerado en este punto fundando en el barrido frecuente de un firme la base de un buen sistema de conservacion. De este modo dice que se mantiene unida la superficie y de buen aspecto, los carruajes y caballerías siguen indistintamente cualquiera direccion, produciéndose así menos des-

Digitized by Google

gaste y destruccion, y menos gasto de material; de este modo podrá obtenerse con mas facilidad un firme al estado normal; de aquí el principio sentado por este ingeniero, á saber, *máximo de belleza, mínimo de gasto.*

No deben exagerarse los principios y por lo tanto, siendo indudablemente perjudicial el que haya esceso de polvo ó lodo en un firme, deberá quitarse cuando pase de ciertos límites; puede adoptarse el de un centímetro próximamente para el que conviene tolerar. Para que no haya desagregacion del material convendrá emplear útiles de poco peso, ó ejercer con ellos solo la presion necesaria para estraer el detritus.

Para la estraccion del polvo se emplea mas frecuentemente la rastra de madera, que se describirá al fin de esta seccion; con ella se arrastra el polvo á los costados del firme ó paseos, en donde se recoge y apila. Debe separarse lo mas pronto posible el polvo fuera de la carretera para evitar de este modo que el viento le lleve nuevamente al firme, ó que cuando llueva forme lodo y sea mas difícil su conduccion.

Cuando reinen fuertes vientos periódicos, no hay necesidad de quitar el polvo por medios artificiales, pues aquellos dejan con frecuencia demasiado limpio el piso y descubierta la piedra.

Para estraer el lodo cuando está blando se emplea tambien la rastra de madera; pero cuando se pone duro ó de consistencia muy pastosa, es necesario emplear la rastra de hierro, cuidando de no apretar con ella demasiado sobre el firme. No se debe dejar endurecer el lodo, pues en este caso, si es algo abundante, lastima los pies de las caballerías y peatones y se hace tambien mas difícil de estraer, siendo necesario á veces emplear la azada para verificarlo. Debe cuidarse tambien de estraer el lodo antes que haya heladas, porque en este caso se endurece de tal modo, que es necesario emplear algunas veces el zapapico.

Si se estrae el lodo cuando está muy líquido, deberá dejarse apilado hasta que tome alguna consistencia, para poderse entonces echar con la pala á los terrenos inmediatos ó trasportarle por medio

Digitized by Google

de la carretilla. El lodo suele aprovecharse cuando está ya consistente para recargo de los paseos.

La estraccion del polvo ó lodo puede tambien hacerse barriendo el firme. El uso de la escoba es conveniente cuando se emplea con prudencia; el barrido se hará únicamente de modo que no desagregue la piedra. Se emplean para este objeto escobas de brezo, usadas ya, cuando el polvo es en corta cantidad, ó el lodo está líquido, y mas fuertes ó nuevas cuando el primero es escesivo, ó el lodo está consistente.

En las travesías de las poblaciones suele regarse para evitar el polvo; en los firmes ordinarios el desgaste será mayor cuando se verifique el riego con esceso, produciéndose por consiguiente efectos análogos á los que se verifican en invierno.

Se han empleado escobas y rastras mecánicas para los firmes, las cuales se describen al fin de esta seccion, dando á conocer las ventajas é inconvenientes que presentan. Tambien se describe un carro de riego empleado en Inglaterra.

Cualquiera que sea el útil ó herramienta que se emplee para limpiar el firme, deberá cuidarse de pasarle con tanta mayor precaucion, cuanto menos tiempo haga que se ha construido este ó verificado los recargos ó bacheos, pues la piedra en este caso se sale de su sitio con mas facilidad.

Segun nuestras observaciones la estension de firme desenlodado por un peon buen trabajador en 10 horas de trabajo, empleando la rastra, viene á ser 340 á 460 metros cuadrados, dependiendo este trabajo de la cantidad y consistencia del lodo.

La cantidad de polvo estraido en el mismo tiempo empleando la rastra y escoba, era de 560 á 730 metros cuadrados.

Empleando solo la escoba ó el *barrido*, 1270 á 1400 metros cuadrados.

Estraccion del hielo y de la nieve.

Los efectos del hielo en las carreteras son el de hacer que resbalen las caballerías y personas, y ademas en tiempos de deshielos, producen lodo y humedad en el firme, lo cual se ha visto es un

Digitized by Google

inconveniente, por lo que se debe tener la precaucion de estraerle. Para esto se pica con el zapapico ó azada cuando está demasiado duro.

El quitar el hielo es mas indispensable todavía en las pendientes algo fuertes, pues si no se verifica hay gran esposicion de que las caballerías resbalen y se lastimen, y pueden volcar los carruajes.

Suelen levantarse las piedras por efecto de las heladas, en razon á que el agua de lluvia que se deposita aumenta de volúmen al helarse y obra como una cuña. En las épocas en que esto sucede no debe hacerse bacheos, pues une mal la piedra.

Cuando haya nieves deben tambien quitarse para que no perjudiquen al firme manteniendo escesiva humedad en él, particularmente al deshacerse, ó incomodando para el tránsito y aun á veces interrumpiéndole. Cuando el grueso de la capa de nieve es pequeño, basta generalmente el empleo de la rastra, pala de madera ó escoba para llevarla á la cuneta, y cuando se deshiela corre por esta el agua que resulta: dicha operacion es inútil el verificarla cuando continúa nevando mucho, pues vuelve á acumularse nuevamente.

Cuando la nieve pasa de medio metro próximamente de altura, es ya necesario verificar el *espaleo*, abriendo la calle necesaria para el paso de los carruajes, operacion que se ejecuta por cuadrillas de peones prácticos del pais, que la verifican partiendo la nieve en prismas con el borde de la pala, y cojiéndolos con esta los arrojan al costado.

El espaleo de nieves es uno de los gastos considerables en algunas carreteras que pasan por los páramos y puertos, pues á veces forman alturas considerables en que es necesario abrir en el espacio de leguas una verdadera calle.

Las carreteras que atraviesan las montañas de Guadarrama, Navacerrada y Somosierra, las de la provincia de Búrgos y Santander, en los páramos de Villalta, Escudo y Canduela, alguna de las provincias de Leon, de Cataluña, etc., se hallan en este caso.

Cuando las nieves tienen muy poca altura ha solido emplearse las rastras mecánicas, ó mejor todavía un bastidor compuesto de

Digitized by Google

tres viguetas formando un triángulo, el cual se arrastra por medio de hombres ó caballerías, y por este medio se conduce ó echa la nieve á los puntos que convenga. El empleo de aparatos mas complicados solo tiene aplicaciones convenientes en los caminos de hierro, en los cuales pueden ponerse en accion con las locomotoras.

Acopios de material.

Los acopios de material para conservacion se colocan en los paseos ó márgenes del camino, para que estén próximos á su destino, y en el mismo sitio los machacan y preparan los peones camineros.

Su recepcion se hace por cargos que se miden en cajones, los cuales tienen comunmente medio metro cúbico, pues si se hiciesen mayores seria difícil manejarlos, en razon al gran rozamiento que ejerce la piedra en las paredes; estos cajones están formados de tablas fuertes, cuyos ángulos se emsamblan á cola de milano, y se afirman con escuadras y cantoneras de hierro: en dos de sus lados se ponen asas para levantarlos y mudarlos de sitio.

Las *pilas* ó *peces* de piedra están compuestos de uno ó mas cargos, y tienen la forma cónica que resulta al levantar el cajon, ó bien una análoga á la de los malecones de tierra.

Debe cuidarse cuando están acopiados mucho tiempo, no dejar acumular tierra al rededor de ellos, pues á veces se entierran y es necesario limpiarlos para poder emplear la piedra, lo cual aumenta la mano de obra. Tambien si se descuida el arreglarlos, cae piedra á la cuneta y se desperdicia mucho material. Las ruedas de los carruajes y las caballerías, que suelen entrar por los paseos, descomponen y entierran mucha parte, y es necesario tener cuidado de volverlos á arreglar. El *rastrillo de dientes* es el útil mas conveniente para apilar la piedra por no arrastrarse tierra con el material, como sucede empleando la azada; sin embargo, tambien se usa la pala para este objeto, cuando haya que echarla desde la pila á la carretilla en vez de cargarla directamente en la espuerta. El rastrillo está compuesto de cuatro ó cinco garfios de hierro de 12

Digitized by Google

á 15 centímetros de longitud, separados entre sí unos 4 centímetros y colocados en la disposicion que la rastra; las puntas se hacen aceradas y en bisel.

Conservacion de las obras de tierra.

Desembroce y rectificacion de cunetas.

Uno de los cuidados indispensables para mantener el firme en buen estado, es el que no se detengan las aguas en el firme y paseos cuando llueve, verificando su salida á las cunetas y corriendo sin obstáculo por estas.

Para esto es necesario cuidar que no haya aterramientos ó crezcan yerbas verificando la operacion de *desembrozar*. Es necesario tambien rectificar y alinear cuando lo exigen, tanto la pendiente de la solera, como las aristas ó bordes de su *boca* y sus costados. Estas operaciones se hacen generalmente en la estacion en que no se puede trabajar en el firme; pero cuando es necesario sobre todo una vigilancia grande para dar curso á las aguas, es en los fuertes temporales de lluvias, como en las tempestades; pues en este caso sufren mucho las obras y en las cunetas se producen aterramientos, tanto porque se desmoronan sus márgenes y solera, como por la caida de las tierras de los taludes y paseos. Dicha solera, por efecto de la gran velocidad que llevan las aguas, se surca y descompone; las aglomeraciones de tierras represan las aguas y desbordando por los paseos y firme se deterioran, y á veces se destruyen completamente.

La rectificacion de las cunetas se hace como su rompimiento, alineándolas por medio de las cuerdas y piquetes, y cortándolas con el azadon ó pala inglesa de mango curvo; tambien se emplean estas herramientas para desembrozar, del mismo modo que la rastra de madera ó hierro. Las tierras que se estraen se sacan á las márgenes ó sirven para recargar los paseos. Cuando para evitar las formas irregulares que quedan en la solera ó costados de las cunetas por efecto de los desmoronamientos, se emplea tierra postiza, es nece-

Digitized by Google

sario tener cuidado de apisonarla con esmero para que resista á las aguas que corren por ella.

Recargo ó recrecido, y rectificacion de paseos.

Los paseos necesitan *recargarse* ó *recrecerse* cuando su rasante se altera por el asiento causado por el tránsito, ó por desaparecer las tierras á causa de las aguas. Tambien es necesario rectificar sus costados ó *alinearlos*.

Estas operaciones se verifican del mismo modo que se esplicó al tratar de su construccion, empleando para la rectificacion de rasantes las niveletas, el reglon y nivel de albañil y las cuerdas y piquetes para su alineacion; cuando se recrecen es necesario apisonar la tierra que se eche nueva.

Tambien es necesario limpiar los paseos y quitar las yerbas que suelen crecer en ellos, y que impiden á las aguas del firme caer á las cunetas: para verificarlo se usa la azada ó azadilla de jardinero, la cual puede emplearse del mismo modo para cortar las yerbas de las cunetas.

Estas operaciones se verifican (á no ser en un caso urgente) durante las épocas que no conviene trabajar en el firme.

Reparacion de taludes ó escarpes.

Los taludes ó escarpes de los desmontes ó de los terraplenes es necesario mantenerlos con la inclinacion conveniente; así es que los terraplenes será necesario recargarlos y macizar los surcos producidos por las aguas; las yerbas de sus bordes deben quitarse, pues sino impiden correr las aguas. Cuando se descuida el verificar la reparacion de las grietas en un terraplen, resulta que se producen desprendimientos que algunas veces arrastran consigo el firme. Estas operaciones tienen que verificarse generalmente despues de las fuertes lluvias de tempestad, que son las que mas daños causan en las obras de tierra.

Limpia de las obras de fábrica.

Ademas de las reparaciones de albañilería ó cantería que sean necesarias en las obras de fábrica, exigen que se cuide de limpiar sus paramentos, quitando las yerbas que se crian entre las juntas·

Digitized by Google

Los peones deben cuidar de tener desembrozadas las tajeas y alcantarillas, de modo que cuando sobrevengan las aguas, puedan correr bien; de otro modo se embalsarian, perjudicando á la obra misma y á las de tierra contíguas, particularmente cuando por encontrar obstáculos en su curso tuvieran que abrirse nuevo cauce. Este cuidado debe tenerse sobre todo en las lluvias fuertes de temporal. Para verificar el desembroce de estas obras, suelen emplearse largas perchas ó azadas de mango muy largo, por medio de las cuales se estraen los aterramientos, yerbas ó fango que obstruye el paso de las aguas; pues á veces no es fácil el entrar en ellas, bien sea por tener poca luz, ó por estorbarlo las aguas.

La limpia de las yerbas que puedan criarse en las juntas, tanto en los puentes, pontones y alcantarillas, como en los muros de sostenimiento, se verifica por medio de hoces ó azadillas.

Estas operaciones se ejecutan en verano, que es cuando no hay que atender á las del firme, y tambien la época en que se hacen con mayor facilidad.

Reparacion ó conservacion periódica.

El sistema de reparaciones periódicas consiste en verificar recargos de piedra en el firme por medio de cuadrillas, cuando las desigualdades en el piso han llegado á un término que producen demasiada molestia para el tránsito, ó no hay el grueso de piedra suficiente para resistir á las presiones de los carruajes sin que estos penetren en el terreno. Este sistema puede referirse, respecto al modo de efectuarlo, á lo espuesto al tratar de la construccion del firme, pues se reduce á reponer el espesor por capas de piedra machacada, verificándolo con las condiciones indicadas entonces. Está sujeto este método á los inconvenientes de un firme nuevo, es decir á la movilidad de la piedra, sino se maciza suficientemente por medio del cilindro compresor, y tambien causa el perjuicio de tener que entorpecer la circulacion; para evitar esto suelen hacerse

Digitized by Google

las reparaciones en cada mitad del firme sucesivamente; pero no pueden así verificarse aquellas con perfeccion.

Este sistema á pesar de tener todavía algunos partidarios, no es el que en general se sigue cuando se trata de obtener un firme en buen estado de viabilidad en todo tiempo. Hemos visto anteriormente los efectos que producen los carruajes y caballerías y los inconvenientes que resultan de ellos para el tránsito; estos efectos son contínuos y por lo tanto constante y asíduo debe ser tambien el cuidado y vigilancia para reparar las degradaciones que resultan.

Aun en el caso de que fuere mas barato el verificar los recargos que el cuidar y reparar constantemente el firme, no deberia adoptarse aquel sistema, pues ademas de los perjuicios que causa, que pueden valuarse en dinero, hay otros en que no puede verificarse esto y que sin embargo son dignos de tenerse en cuenta, como son las molestias que se causa á los pasajeros. Todos estos males deben pues tratarse de disminuir ya que no puedan evitarse completamente, si las carreteras han de cumplir el verdadero objeto para que se construyen.

Por desgracia en España se está en el caso de tener que adoptar muchas veces el método de recargo, pues generalmente la falta de los recursos necesarios para atender á la conservacion oportuna de las carreteras, impide que se repongan los desperfectos cuando conviene, llegando á ponerse casi intransitables; y por consiguiente, no es exacto decir que el sistema que se sigue es el de conservacion permanente.

El verificar solo en épocas lejanas las reparaciones de las obras de tierra, en particular de las cunetas, trae el inconveniente de que las aguas no podrian tener la salida conveniente, viniendo á producir un aumento en los males enunciados.

Sistema de conservacion misto.

Este sistema consiste en cuidar de la conservacion del firme continuamente como se ha esplicado, para que no se formen ba-

Digitized by Google

ches ni rodadas que molesten á la circulacion, y reponer ademas periódicamente el espesor que debe tener, cuando ya ha llegado á disminuirse de modo que no puede resistir á la presion de los carruajes.

Este sistema tiene partidarios entre ingenieros acreditados. Uno de los que le propusieron como el mejor que debe seguirse, fué Bonamy en 1847.

Critica este ingeniero el método de bachear (prescrito por las circulares en Francia) dejando saliente el material sobre el firme, con el objeto de ir reponiendo el grueso de él, pues de este modo no se obtiene jamás una superficie lisa é igual.

El método que indica es el de hacer los bacheos con el material indispensable para la cómoda circulacion, dejando desgastar el firme hasta que ya su espesor sea insuficiente, lo cual se verifica cuando llega á quedar de unos 9 centímetros.

Este período de conservacion permanente puede determinarse por sondas y perfiles referidos á puntos fijos (*).

Suponiendo por ejemplo 10000 metros de carretera de 20 centímetros de espesor, para el cual se haya encontrado ser de cinco años el período de conservacion permanente y 2 centímetros la pérdida de espesor anual, se puede descomponer en cinco porciones, que en el orígen del período está cada una preparada de modo que tenga 12, 14, 16, 18 centímetros; cada año se recargará una parte, de modo que al cabo del período habrá recobrado el espesor por igual.

Cree que este sistema es económico, pues disminuye las pérdidas del material que se verifican dejando los baches salientes, y simplifica las operaciones.

Para conseguir la pronta union de los materiales, emplea el cilindrado y aun propone emplear para esta operacion los caballos del ejército.

(*) Se ven al tratar de los gastos de conservacion los inconvenientes de este sistema.

Digitized by Google

Conservacion de firmes empedrados.

Métodos que se emplean.

La conservacion de empedrados consiste en reemplazar aisladamente alguna piedra ó adoquin que se destruya, ó por piezas y reparos por trozos, cuando lo exija el mal estado del empedrado.

Reparar por trozos.

Para verificar las reparaciones debe limpiarse el firme antes de levantar las piedras, y hecho esto se quitan las materias estrañas que pueda haber en la base de arena; se saca esta hasta la profundidad de unos 40 centímetros y se echa arena nueva ó la misma que habia si es suficiente, pero removida y limpia. Se procede como se esplicó en la construccion de estos firmes, por capas regadas y y apisonadas hasta restablecer el perfil que deba quedar, y se asientan las piedras despues, rellenando las juntas de arena y apisonando el empedrado.

Los adoquines que se estraen suelen volverse á emplear relabrándolos; y para hacer esto conviene no mezclarlos sino reunirlos por tamaños, y formar trozos separados con adoquines de dimensiones próximamente iguales.

Hundimiento de *piezas* ó piedra.

A veces cuando se hunde aisladamente algun adoquin, para economizar el tener que levantar los contiguos, se descarnan las juntas y se apalanca para sacarlo, de modo que quede 2 ó 3 centímetros mas saliente su cabeza que el resto del empedrado; se le sostiene en esta posicion, se introduce arena por las juntas y se coloca otra vez apisonándole para que siente bien. Cuando se quiere aprovechar los adoquines que se estraen al reparar un empedrado, suelen invertirse, es decir, colocar la parte inferior en la superficie; pero no presentan de este modo el asiento conveniente y las juntas abren demasiado, por lo que conviene en este caso relabrarlos y destruirlos para otras hileras de dimensiones uniformes.

En tiempo de invierno cuando se verifican los deshielos, contribuyen estos á descomponer los empedrados, porque se aflojan y

Digitized by Google

desunen las piedras, y hay mas esposicion á que se formen baches por la accion de los carruajes. Esta circunstancia ha hecho que en Francia se establezcan en ciertas épocas del año barreras que llaman de *deshielo*, prohibiendo en ellas el paso de carruajes con grandes cargas.

Los efectos anteriores consisten, segun se ha observado haciendo catas en el firme en las épocas indicadas, en la escesiva cantidad de agua que se deposita en la solera de la caja y capa de arena del cimiento. Para remediar este efecto se puede sanear ó desecar el firme construyendo acueductos rellenos de grava ó colocando tubos de barro como se indicó al tratar del saneamiento del terreno; pero es mas económico y fácil el evitarlo teniendo bien limpio el firme y promoviendo la evaporacion y salida del agua por medio del cilindro compresor, como se verá al tratar de las aplicaciones de este.

SEGUNDA SECCION.

HERRAMIENTAS Y UTILES QUE SE EMPLEAN EN LA CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS.

Várias herramientas y útiles que se emplean en la construccion de carreteras, tienen aplicacion para la conservacion; por esta razon hemos preferido dejar algunas de ellas para describirlas en esta parte, en la cual se indicarán, tanto los que comunmente se usan, como los aparatos perfeccionados ó mecánicos que han recibido tambien aplicaciones en las obras.

Vamos pues á ocuparnos de las herramientas destinadas á la conservacion de los firmes llamados ordinarios ó de piedra partida, y las que se usan para la conservacion y construccion de los firmes empedrados, describiendo despues varias carretillas perfeccionadas ó mecánicas y carros para riego.

Digitized by Google

Carretillas.

Las carretillas que se han descrito al tratar de la construccion de obras de tierra, se emplean igualmente para las operaciones que se verifican en la conservacion de carreteras, para trasportar la piedra, lodo ó polvo y tambien las usan los peones camineros para conducir los demas útiles al trozo en donde trabajan.

Palas.

La pala inglesa que se dió á conocer al hablar de la construccion de obras de tierra es muy útil para desembrozar, reparar ó abrir las cunetas, por ser su manejo mas fácil que el de las comunes á causa de la curvatura de su mango; se emplea sin embargo la pala comun de madera para el espaleo de nieves, limpia ó estraccion del lodo ó polvo.

Rastras.

Las herramientas que se indicaron al tratar de las operaciones de conservacion del firme de las carreteras, á que se dió el nombre de rastras, pueden ser de hierro ó de madera. La fig. 98 representa su forma; la parte que sirve para rastra es generalmente semicircular con un ojo para colocar el mango, y en vez de formar un ángulo recto en este mango es conveniente que sea algo agudo; cuando la rastra es de hierro puede formarse de una hoja gruesa de palastro, y de tabla delgada cuando es de madera; su diámetro tiene próximamente 24 á 30 centímetros.

Azadas.

Tambien las azadas que se usan en la construccion de carreteras se emplean en la conservacion para estender el material del firme y desenlodar; mas para estas operaciones no tienen tan conveniente aplicacion como la rastra, por su mucho peso, que produce demasiada presion en el firme.

Piquetes ó clavos.

Los piquetes son unos clavos de hierro de 0^m25 de longitud; sirven para atirantar las cuerdas que se colocan con el objeto de alinear los paseos y cunetas. Cada peon debe tener cuatro, para poder colocar dos de cada lado en los bordes de las cunetas ó paseos, cuando se rectifiquen ó abran de nuevo.

Digitized by Google

Cuerdas. Las cuerdas para el objeto indicado antes deben ser de cáñamo bien torcido, y tener un grueso próximamente de un centímetro ó menos; es conveniente prepararlas sumergiéndolas en aceite hirviendo para conservarlas mejor, y que no varien tanto de longitud con la humedad.

Escobas y espuertas. Las escobas son de *brezo* y cada peon debe tener dos, para que pueda haber una mas desgastada para los usos que se indicaron al tratar de la conservacion del firme. El peon necesita tener tambien espuertas para conducir las tierras, polvo etc. En algunas provincias se sustituye á estas los cestos ó capachos.

Herramientas de empedrador.

Rascador ó piquetilla. Las figuras 99 y 100 dan á conocer la herramienta llamada piquetilla ó rascador, la cual puede ser recta ó curva; está compuesta de una parte de hierro y el mango de madera. Se emplea para estraer la arena de las juntas del empedrado. En la figura se ponen acotadas sus dimensiones.

Palanca ó *alzaprima* Para levantar y sacar las piedras se emplea la *palanca* ó *alzaprima*, cuyo peso viene á ser de 10 á 12 kilógramos, su forma la de las palancas comunes y su grueso de $3^1/_2$ á 4 centímetros. Tambien se emplean para el objeto indicado los azadones de forma análoga á la que se representa en la figura 100, pero de mayor tamaño y peso.

Retundidor. Para rellenar las juntas de los empedrados se emplea una hoja de hierro con mango de madera, y de la forma que indica la figura 101, que representa la vista de frente y costado.

Martillos de empedrar. Los martillos de empedrador son en general de dos formas; una es la indicada en la fig. 102 en que está representado un martillo de frente en *a* y por el costado en *b*, con las acotaciones de

Digitized by Google

sus dimensiones; su mango es de madera, suele pesar 11 kilógramos y se maneja generalmente á dos manos.

Otra forma de esta herramienta es la representada en la fig. 105; en este caso suele pesar 5 á 6 kilógramos.

La parte que forma la *pala* sirve para arreglar la arena de la fundicion ó base, etc.; el martillo para apretar las piedras y relabrarlas.

Pisones.

Los pisones que se emplean para afirmar los empedrados, son de peso variable y pueden ser para manejarse por uno ó dos operarios. Pesan de 18 á 35 kilógramos; deben construirse de una madera fuerte, como la encina; sus formas son generalmente las indicadas en las figs. 104 y 105; los bordes inferior y superior deben herrarse para que no se astille la madera al apisonar.

Tambien pueden emplearse estos pisones en los firmes ordinarios y en las obras de tierra.

Aparato para medir la profundidad de los baches.

Para medir la profundidad de los baches se puede emplear una regla horizontal, unida á dos montantes verticales en medio de los cuales corre una varilla que se baja por un tornillo hasta el fondo del bache. Las reglas se aseguran á los montantes por medio de tornapuntas, las cuales mantienen á aquellos perpendiculares entre sí; la regla puede aplicarse ó replegarse á los costados de los montantes por medio de charnelas; este aparato está representado en la fig. 106. Tambien se construye de modo que pueda tomarse la flecha en un punto cualquiera del bache, lo cual se consigue haciendo la regla horizontal de una sola pieza y disponiendo la vertical de modo que pueda correr á lo largo de la primera.

Carretilla de empedrador.

Las carretillas para trasportar las piedras son análogas á las descritas para las demas obras, pero con solo la plataforma y la tablilla delantera, para que no se caigan aquellas al inclinarlas hácia la rueda durante el trasporte; los otros tres lados se suprimen para descargar mas comódamente.

Digitized by Google

Aparatos mecánicos.

La escoba mecánica de Witvorth fué empleada primeramente en Manchester y en otros puntos de Inglaterra desde 1842, en que su inventor la aplicó para barrer las calles y carreteras. Está compuesta de una cadena sin fin á la cual van unidas varias escobas suspendidas en un bastidor; este va colocado en la parte posterior del carreton. Por medio de un piñon y una rueda de engranaje, toma la cadena un movimiento en sentido contrario del de las ruedas. Cuando anda el carreton empiezan á girar las escobas, recojen el lodo y le hacen subir por un plano inclinado vertiéndole en una caja colocada en la parte superior, y en esta hay un travesaño de hierro en el cual se limpian las escobas. Por medio de un mecanismo sencillo se puede aumentar ó disminuir la presion que ejercen sobre el suelo. Con este aparato pueden barrerse 15000 metros cuadrados en un dia, que viene á ser el trabajo de 15 operarios, que verifique el barrido con escobas de mano; su coste en Inglaterra era de unas 100 libras esterlinas. Deben emplearse con poca velocidad para que produzcan mayor efecto.

Las figuras 107 y 108 representan las proyecciones vertical y horizontal. *AA* es el contorno de la caja; *BB* aparato de hierro forjado para la carga; *CC* travesaños; *EE* pies derechos que sostienen el aparato y muñoneras del eje; *F* eje de las poleas *GG* y de la rueda *H*; *YY* pasadores que sirven para hacer engranar la rueda anterior con la *K*, la cual está unida con varillas á la rueda derecha del carreton; *OO* cadenas sin fin; *Q* plano inclinado; *M* ejes de las poleas *L*, que giran en los cojinetes de acero móviles *N*, y que pueden ajustarse á voluntad al marco *B*; *R* tablero colocado en la parte superior, para impedir que caiga el polvo por entre el plano inclinado y la parte superior del carro.

El plano *Q* está asegurado por roscas *S* á la parte *BB*, y puede hacerse de palastro. Por medio de las roscas, se ajustan las escobas al plano á medida que van gastándose.

Digitized by Google

Las escobas están compuestas de fajos metidos en agujeros cónicos abiertos en los travesaños de madera y pegados á ellos con pez, ó asegurados por cuñas; se colocan muy próximos entre sí, segun indica la figura 109. La cadena está compuesta de anillos alternativamente abiertos y cerrados; los estremos *v* del anillo abierto están aplanados para colocar entre ellos la traviesa *w* de la escoba, la cual se asegura con un pasador. Uno de los anillos abiertos de cada cadena está formado de dos partes unidas entre sí por la charnela *x*; por este medio se ajusta la cadena quitando la escoba é introduciendo su estremo por el inmediato cerrado.

Todo el aparato gira sobre los apoyos *DD* (Fig. 107 y 108) por medio de las muñoneras *E*. La presion de las escobas se equilibra por un peso *Y*, el que tiene agujeros con el objeto de calibrarse por medio de otros pesos adicionales. Este peso está colocado en la delantera del carro y suspendido dentro de un cajon *Z* por las cadenas *aa* que pasan por las poleas *b*.

Para levantar el aparato de carga y ponerle horizontal, hay en el eje de las poleas *b* un piñon *d*, el cual hace girar á la rueda *e* montada en otro eje *f* paralelo al referido. Este eje es al mismo tiempo el de las poleas de hélice *g*, en cuyas gargantas se arrollan las cadenas *h*; los estremos de estas están sujetos por un lado á dichas poleas y por el otro á los segmentos. Haciendo desengranar la rueda *e* del piñon *d* por medio de la palanca *v* (lo cual se verifica con la rosca sin fin *k*), puede el conductor por medio de la manija *m* levantar el aparato dejándole suspendido sobre la rueda. La rosca debe estar lo mas próxima posible al piñon *d*, para que pueda engranar con la rueda *e* antes de que desengrane completamente con el piñon *d*.

Cuando el aparato de carga está horizontal cesa el movimiento de rotacion de las escobas, para lo cual se afloja el pasador *Y*. Esta operacion se verifica por medio de la pieza inclinada *g*. A este efecto va empujando lateralmente dicha pieza *g* á la palanca *n*, la cual tiene su punto de apoyo en *o* sobre la pieza *p*. En la misma pieza *p* hay un resorte *r*, que cuando baja el aparato ajusta el pasador *Y*, haciendo que las escobas vuelvan á girar.

Digitized by Google

Los travesaños *s* sostienen las barras *t*, que sirven para limpiar las escobas; estos travesaños tienen unas mortajas para ajustar la posicion de las rodajas á la longitud de las escobas.

Para que el aparato de carga pueda quitarse, se doblan los apoyos *D* por medio de una charnela.

La figura 110 es la vista de costado de la parte superior del carreton, y la 111 de la parte inferior del mismo; la 112 la vista por detras; dicha parte superior es la *w* de la vista general y la inferior la *x*, unidas en el punto *g*. Cada parte está compuesta de un marco fuerte de hierro con traveseros á los cuales se sujetan las hojas de palastro. El eje *z* del carro atraviesa la parte superior; es de hierro forjado, muy fuerte y reforzado con un brazo en cruz 1: la caja inferior *x* que contiene el polvo; está suspendida al eje *z* por las cadenas 2. Para descargar la caja se baja hasta el suelo, se desprende la cadena de la parte inferior y estando horizontal el aparato de carga, sigue el carro su marcha dejándose aquella detrás para poderla vaciar cómodamente. Para bajar la caja *x* por medio de las cadenas 2, están sujetas estas por uno de sus estremos á las poleas 5, montadas en el eje 3, el cual se apoya sobre la piezas 4 acodadas, que sobresalen del eje 2. La rueda 7, montada tambien en el eje 3, engrana en la rosca sin fin 8, cuyo eje 9 se apoya en los puntos 10. Las ruedas y las poleas se hacen girar por medio de la manija 11.

La caja *x* se coloca otra vez en su sitio haciendo rodar el carreton hasta que la parte *w* caiga sobre ella, se engancha la cadena 2 y dando á las manijas 11 movimiento inverso del anterior, se hace subir la caja sirviendo de guias las piezas 12. El tubo 13 sirve para dar salida al agua que contengan los detritus. Para no perder tiempo pueden tenerse varias cajas; estas máquinas pueden tambien servir para desenlodar, sustituyendo á las escobas, rastras de hierro.

Rastra mecánica.

Otro aparato análogo al anterior es la rastra mecánica, representada en las figs. 113 y 114. Está compuesta de 8 rastras colocadas en un bastidor unidas por charnelas al mismo en un trave-

Digitized by Google

saño horizontal. La presion sobre el suelo se ejerce por el peso del aparato y de unos resortes, y las rastras son independientes entre sí; todo el sistema se apoya en un eje con dos ruedas pequeñas.

Cuando trabajan las rastras se levantan las ruedas, cargando todo el peso del aparato sobre la trasera.

Cada rastra está compuesta de dos chapas de 0m 1 de ancho, formando entre sí un ángulo de 85°, sostenidas por una tornapunta curva de hierro, y se comprimen por un resorte de 15 centímetros de longitud.

Las *uñas* ó salidas de las rastras tienen 2 centímetros de largo y 4 centímetros de grueso; su forma es cóncava por la parte interior.

Las maderas del bastidor son de roble, álamo negro ó encina, para que tengan bastante peso; para asegurarlas en la posicion que deben tener, hay en la parte superior dos pernos con rosca y tuerca; uno de estos pernos está colocado en el estremo inferior de la tornapunta.

Los resortes colocados en el estremo de la plancha superior y por debajo de esta, se sujetan por un estremo por medio de dos roseas y por el otro se apoyan en un travesaño redondo de hierro, cuya barra sirve de apoyo á las chapas superiores cuando caen. La parte del bastidor que sienta en el suelo, está revestida de hierro para que no se desgaste; sus bordes posterior y superior sobresalen de los rascadores ó rastras sobre 25 centímetros, protegiéndolos así por todos lados.

Este aparato que es una modificacion de otro ensayado antes, el cual tenia el defecto de ser mas ligero, ha producido buenos resultados en su aplicacion para la estraccion del polvo ó del lodo, cuando tiene este una consistencia regular; pero no si está muy duro ó muy líquido; en este último caso puede sustituirse la máquina de escobas. Tambien se empleó esta rastra para quitar la nieve cuando tenía poca altura.

Este aparato se hace actuar transversalmente al camino, dejando amontonado en los costados el polvo ó lodo.

Digitized by Google

Otra escoba mecánica.

Otra escoba mecánica empleada tambien es de dimensiones análogas á la de rastras de las figs. 113 y 114; está compuesta de dos aros de hierro colocados uno encima del otro, separados entre sí 7 centímetros, y su forma es de dos cuartos de círculo unidos por una recta; estos aros sujetan 10 escobas muy próximas entre sí; todo está dispuesto detrás de una carretilla que el operario dirige con las dos varas ó brazos, como las carretillas comunes. Del mismo modo que se indicó para las rastras, se pueden levantar las varas y ruedas cargando así el peso sobre las escobas, y bajando aquellas, quedan suspendidas las escobas dejando amontonado el polvo ó lodo.

Puede acortarse ó alargarse las escobas y reponerse cuando sea necesario; para esto van sujetas por medio de puntas de hierro colocadas en los aros, y abrazadas por collares de hierro *dobles*, que pueden aproximarse ó apartarse por medio de roscas y tuercas; se ponen hebillas para sujetar las correas que se pasan por los hombros del operario. Todo el aparato es de hierro escepto los brazos. Pesa 20 kilógramos sin las escobas; pero hay que cargarlas mas cuando el barro es algo espeso.

El trabajo con estas máquinas parece salir un 25 por 100 mas económico que el efectuado con la rastra de mano.

Otra carretilla barredora.

La carretilla barredora empleada con buen éxito por Bessou en 1841 está representada en las figs. 117, 118 y 119.

Consta de dos tablas de un metro de longitud y 18 centímetros de ancho unidas por tres pernos, con cabeza por un estremo y rosca y tuerca por el otro. Estas tablas son las que sujetan las escobas; tiene dos brazos dispuestos como en las carretillas comunes. Puede limpiar el camino en una anchura de un metro á la vez. Para emplearla, el peon la dirige perpendicularmente al camino y coloca las tablas, segun sea su fuerza y estatura, mas ó menos próxima á la rueda, apoyándose convenientemente en el estremo de los brazos, segun quiera conseguir mas ó menos efecto en el barrido. Puede un peon barrer 800 metros de longitud de firme en un dia.

Digitized by Google

Rastra de Olivier.

Las figs. 120 y 121 representan una rastra construida por Olivier en 1839, análoga á otras empleadas en Inglaterra. Un operario verificaba con ella próximamente tres á cuatro veces el trabajo verificado con la rastra de mano.

Carro de desenlodar de Chardot.

Este aparato, que se emplea hace 12 años en algunos departamentos de Francia, está compuesto de rastras que funcionan independientemente unas de otras, para aplicarse mejor de este modo á todas las ondulaciones del camino.

Las figs. 122, 123, 124 y 125 representan este aparato; *RR* son las rastras colocadas unas á continuacion de otras recubriéndose sucesivamente sobre una cuarta parte de su ancho; de este modo presentan una línea contínua de 30 rastras; por esta disposicion se consigue tambien que el barro no pueda refluir por las juntas.

BB (Figs. 123 y 125) son brazos de palanca qua se cruzan; están sostenidos por un estremo con ejes horizontales *aa* (Fig. 123) empotrados en la pieza de madera *cc*, en los cuales pueden girar. En el otro estremo, despues de atravesar las rastras, terminan en una cabeza de madera *b* (Fig. 125) destinada á impedir que se levante la rastra cuando conduce el lodo.

La pieza de madera *cc* en la cual están fijados todos los ejes de las rastras, está bien sujeta á la parte inferior de un carro de dos ruedas, formando un ángulo de 30° con su eje; ademas está sostenida en su frente por un rodillo de fundicion *D* (Fig. 122 y 123), que puede girar al rededor del eje vertical *dd* (Fig. 122), segun las resistencias que se encuentren en el camino.

La traviesa de madera *EE* (Fig. 122 y 123) está colocada sobre el brazo de palanca *B* paralelamente á la línea de rastras, para poder levantar estas cuando no se quiera funcionar. La maniobra se efectua por medio de las cadenas *FF*, *F'F'* (Figs. 122 y 123), las que fijadas por un estremo inferior á la traviesa *EE*, pasan por las poleas *GG* y se arrollan al árbol de un cabestante colocado en la parte superior del carro. El cabestante le mueve el operario, el cual va durante la marcha en un asiento colocado al lado derecho

Digitized by Google

en la prolongacion del bastidor. Para que cese de funcionar el carro, el operario maneja el cabestante por medio de una rueda horizontal (Figs. 126 y 127), que sirve de manibela, para lo que hay al estremo de sus radios manijas *m m m*. El husillo *f* colocado en un agujero de los del segmento inferior *SS* retiene la manibela, sostiene la rastras y puede cerrar á voluntad la pieza *T*.

Si al contrario, para que funcione la máquina se quita el husillo *f*, se afloja *T* y caen las rastras. La resistencia de los cuerpos sobre que obra la línea de rastras se descompone en dos fuerzas, una normal á ellas y otra paralela que arrastra el barro y esta es proporcional al seno del ángulo que forma la línea de rastras con el eje del carro: así cuanto menor sea este ángulo, mas pronto será arrastrado el lodo al costado; pero por no dar una forma embarazosa al aparato, se ha adoptado la inclinacion de 30°.

Puede desenlodar de ida y vuelta una longitud de 15 kilómetros por dia, siendo en un ancho de 5^m4, haciendo así el trabajo de 60 operarios.

En 1852 se nombró en Francia una comision de ingenieros para examinar esta máquina, y dar cuenta de los resultados obtenidos con ella. Para su informe tomaron como dato, que para desenlodar por los medios comunes un kilómetro, echando el lodo fuera del camino, se necesita término medio 5,67 jornales de un peon, suponiendo que puede desenlodar 250 metros lineales al dia, ó amontonar y echar el lodo fuera en una longitud de 600 metros; tuvieron tambien en cuenta el gasto de tres caballerías que exige el carro, el jornal del conductor y el de un operario para la maniobra de las rastras; la amortizacion é interés del capital gastado en la compra de la máquina, etc. Resultando por último de su informe que puede obtenerse con esta máquina una economía en la relacion de 2,66 á 1 cuando los materiales son de buena calidad, y de 6,56 á 1 con materiales calizos tiernos, comparando su efecto con los medios comunes empleados.

Indicaba tambien la comision, que cuando haya *bacheos* recien hechos, no conviene emplear esta máquina, porque los descompon-

Digitized by Google

dria, y que el modo de trasmitir el movimiento á las rastras era poco espedito y debia mejorarse.

Se ha propuesto emplear este aparato para quitar la nieve; pero solo tiene buena aplicacion cuando es de poco espesor, y será mas económico y sencillo emplear en este caso el triángulo de viguetas que se indicó en el lugar correspondiente.

Las figuras 126 y 127 representan en mayor escala el cabestante destinado á elevar los rascadores.

Carros de riego.

Uno de los sistemas de carro de riego empleado en Inglaterra y Francia, consiste en una caja dividida en dos partes iguales por una pared vertical.

Cada una de ellas comunica con el depósito principal por una válvula que se abre ó cierra por medio de una cadena que pasa por dos poleas, y esta se une á una palanca que el conductor del carro puede mover con los pies apoyándolos en pedales.

Cuando se bajan los dos pedales funciona toda la regadera y puede regar una estension de unos 5 metros de ancho, y la mitad cuando solo funciona un solo pedal; tiene tambien agujeros por los costados para regar mas estension.

La capacidad del depósito es de 1817 litros, pudiéndose regar 3323 metros cuadrados; este carro cuesta 3000 rs. próximamente, y le conduce un caballo. La figura 128 representa la seccion longitudinal del carro.

Los carros de cuba con manga de cuero se emplean en España, tienen algunas ventajas por poderse regar á voluntad un ancho mas ó menos considerable.

Digitized by Google

TERCERA SECCION.

GASTOS DE CONSERVACION.

Descomposicion de los gastos de conservacion.

Los gastos que ocasiona la conservacion de una carretera, admitiendo el sistema de conservacion permanente ó el misto, pueden dividirse en varias clases; los unos son los causados por el coste del material que hay que emplear para mantener el firme en buen estado, reparando los baches y roderas, y para reemplazar el desgaste ó disminucion de su espesor: otros son los relativos á la mano de obra para el empleo de estos materiales y para las demas operaciones que exige el firme y que se han indicado al hablar de la conservacion; los ocasionados por la mano de obra para conservar las obras de tierra, que tambien se indicaron, y por último los gastos generales de vigilancia ó sean los sueldos de capataces, sobrestantes y demas empleados en este servicio.

El material que se gasta en reponer el grueso del firme y reparar las desigualdades que se producen en la superficie, depende directamente de la circulacion en union con la naturaleza de esta y demas causas que se indicarán luego.

Desgaste del firme.

La cantidad que disminuye el grueso de un firme por efecto de la circulacion, es un dato importante para resolver varias cuestiones económicas relativas á las carreteras.

Los firmes no se desgastan uniformemente, pues no es posible que la circulacion actue del mismo modo sobre todos los puntos; influye tambien la calidad de los materiales y causas atmosféricas, estando conformes las opiniones en qué el desgaste es mayor en invierno que en las estaciones secas.

El desgaste se da á conocer por los detritus que se forman en la superficie del firme, y ocasionan el polvo y lodo producidos por

Digitized by Google

el rozamiento y choques de las ruedas y los pies de los animales y personas, y puede decirse que estos detritus miden la *fatiga* ó *trabajo* del firme. Este desgaste no es proporcional á la circulacion ni al peso que actua sobre el firme, aunque varia con el número de carruajes y caballerías, estacion, clase de material, etc., como se dijo antes, y segun los esperimentos de Bardonnaut, la estraccion frecuente del polvo favorece tambien el desgaste.

La cantidad de material desgastado por unidad de longitud del firme no puede establecerse exactamente, pues los esperimentos hechos por varios ingenieros dan distintos resultados, como es natural, segun la calidad del material, carga de los carruajes y estaciones.

Cantidad de desgaste.

Se han dado diversos resultados relativos á la cantidad desgastada en un firme, bien sea espresándola por la pérdida de espesor ó grueso, ó por el volúmen de detritus y su equivalencia en piedra.

Segun el ingeniero Muntz, en un firme de granito, el desgaste que resultaba anualmente por cada kilómetro de carretera y cada collera de tiro (*) de frecuentacion diaria, era de 0,28 metros cúbicos en la piedra granito y 0,21 en la caliza dura.

Berthault Ducreux ha verificado tambien esperimentos, de los cuales deduce 1,4 centímetros para la disminucion de espesor ó grueso de un firme por año y 100 colleras de frecuentacion diaria, lo cual equivale á 150 metros cúbicos de detritus, ú 82 metros cúbicos de piedra machacada por tonelada y legua francesa.

Tambien se ha valuado por este ingeniero la equivalencia de una capa de lodo ó polvo formado en el firme, relativamente á la cantidad de piedra que la ha producido, deduciendo de sus observaciones que una capa de lodo algo consistente, de un milímetro de espesor, 5 metros de ancho y 4000 metros de longitud, indica un desgaste de 28 á 29 metros cúbicos de piedra. Una capa de polvo de las mismas dimensiones representa 16 metros cúbicos de piedra.

(*) Véase la nota al fin de esta seccion.

Digitized by Google

Un metro cúbico de lodo consistente representa cerca de un metro cúbico de piedra. Un metro cúbico de polvo, algo mas de medio metro cúbico de piedra desgastada.

La circulacion ó frecuentacion de 50 colleras en 24 horas, desgasta anualmente unos 15 metros cúbicos de piedra por kilómetro de longitud de carretera, distribuidos en un ancho de 3 á 4 metros y representa un espesor de 3 milímetros de desgaste de firme.

El ingeniero Dupuit, segun esperimentos de dos años verificados en siete carreteras, asigna un desgaste de 50 á 55 metros cúbicos por cada kilómetro y por 100 colleras de frecuentacion diaria, contando por una tercera parte de las colleras cargadas las que tiran carros sin carga, y siendo los materiales silíceos de buena calidad y estando las carreteras en buen estado.

Gayffier asigna 50 metros cúbicos de material por kilómetro y 100 colleras de frecuentacion, cuando la piedra es cuarzo.

El ingeniero Jordan deduce de sus observaciones 47,53 metros cúbicos por kilómetro y 100 colleras de frecuentacion diaria, en un firme compuesto de caliza de mediana dureza; por lo cual juzga que puede admitirse 50 metros cúbicos.

En los documentos oficiales de la administracion francesa relativos á la distribucion de consignaciones correspondientes á 1850, se asignan 40 metros cúbicos de desgaste anual por kilómetro y 100 colleras, contando los carruajes vacios por una cuarta parte de los cargados.

Estos datos y otros que indican algunos ingenieros, hacen ver la diferencia de resultados obtenidos, lo cual es causa de que no pueda establecerse de antemano cuál será la cantidad de materiales que se desgastará en un firme dado, pues depende de muchas causas como se indicó antes, y tambien del sistema que se haya empleado para averiguar el desgaste. Estos resultados podrán servir para una apreciacion aproximada en circunstancias análogas, pues para obtenerlos mas exactamente habrán de verificarse esperimentos directos.

Digitized by Google

Segun hemos indicado antes, se han seguido diversos métodos para valuar el desgaste de un firme, ya midiendo la disminucion de su espesor en épocas determinadas y para cierta frecuentacion, ya por la cantidad de los detritus formados, teniendo en cuenta la circulacion, carga, etc.; pero en ambos métodos se encuentran grandes dificultades. Vamos á ocuparnos de ellos espresando las ventajas é inconvenientes que presentan, tratando igualmente de las subdivisiones que pueden considerarse en los gastos de conservacion y los medios empleados para su valuacion.

Métodos para medir el desgaste y gasto de material.

Para medir el desgaste de un firme, ó su *fatiga*, se ha propuesto por algunos ingenieros verificarlo por el número de colleras que transitan; pero es muy inexacto este método, pues no se ejerce una accion proporcional al número de caballerías, y subdividiendo las diferentes clases de carruajes, sus cargas son distintas, distinta la fuerza de los animales de tiro, é igualmente su accion en los diversos casos.

Tambien se han verificado nivelaciones en el firme para medir directamente el desgaste en intervalos determinados, refiriendo estas nivelaciones á puntos fijos colocados en los costados de aquel. Pero este método, por bien hechas que estén las operaciones, es inexacto, porque pequeños errores pueden representar una cantidad de material, que corresponda al desgaste de muchos años.

El método admitido por Bardonnaut y seguido por otros ingenieros, como el único para hallar el desgaste de un firme, es el de medirle por la cantidad de material desgastado, para lo cual se recogen esmeradamente los detritus, el polvo y lodo por un tiempo dado y en cierta longitud de carretera, dejándolos secar y pesándolos despues, tomando al mismo tiempo nota de la circulacion que se ha verificado en este tiempo. Estos esperimentos son delicados y es necesario tener la precaucion de hacerlos en distintos trozos de carretera, con distintos materiales, lejos de poblacion, llevando cuenta de los materiales empleados en conservacion, su peso, composicion y ancho del firme, dias de lluvia, etc.

Digitized by Google

El ingeniero Gasparin en una Memoria sobre los gastos de conservacion de las carreteras inserta en los *Anales de puentes y calzadas de* 1853, hace ver que este método vendria á ser impracticable en los paises espuestos á vientos ó lluvias fuertes y en las pendientes grandes.

Ademas, aun suponiendo que se pudieran recoger casi todos los detritus producidos por el desgaste, é impedir á los carruajes el marchar en verano por los paseos (cuya tierra se adhiere á las llantas y luego cae en el firme), faltaria conocer la transformacion interior de este, la cual representa tambien un trabajo.

Para apreciar la composicion interior del firme cree Gasparin que deben medirse los detritus por cortes ó catas transversales abiertas al principio y al fin de cierto período, teniendo en cuenta el volúmen de los materiales empleados en conservacion, para obtener el conocimiento del desgaste y de la disminucion de material. Este método no está sujeto á error verificándolo con precauciones; se necesita practicarlo en tiempo de sequías prolongadas y temperatura próximamente igual, y determinar por un ensayo el agua contenida en los materiales del corte, si hubiese humedad. En la parte de carretera que se esperimente, los *cortes* deben hacerse bastante próximos para sacar un término medio, y los hechos al fin del esperimento no deben ocupar exactamente el mismo sitio que los primeros, pues sin esta precaucion las modificaciones que se verifican por efecto del *corte* introducirian confusion en los resultados.

Para deducir el trabajo ó fatiga del firme, hay que recordar que se compone de dos partes: primera, del gasto de material reducido á polvo y lodo: segunda, de la disminucion de grueso de los materiales que quedan en el firme. La primera parte se obtendrá determinando el peso del material de los *cortes* al principio y fin de los esperimentos, teniendo en cuenta el agua que contengan y el peso del material empleado en la conservacion. La segunda parte es mas difícil de obtener, pero puede hallarse aproximadamente. Para esto se tendrá en cuenta que los cortes abiertos al principio del esperi-

Digitized by Google

mento tendrán cierta cantidad de material que esceda del grueso, por ejemplo, de 2 centímetros de lado; estos cortes ó trozos sometidos á la misma circulacion y conservados del mismo modo, tendrán desgastes diferentes, y la diferencia entre los números que representan el desgaste será una aproximacion del *trabajo ó fatiga*, que corresponde á la *atenuacion* ó disminucion de grueso de los materiales del firme. Cuando se compare la composicion de un corte al principio y al fin de un esperimento, la diferencia de composicion indicará una diferencia de *fatiga* correspondiente á la diferencia de desgaste que se haya observado para dos *cortes*.

Representando por 1, 2, 3, etc., los cortes; por a, b, c, d, e, el desgaste durante los esperimentos; por $P_1 P_2 P_3 P_4 P_5$, el peso del material sólido (que esceda de 2 centímetros de lado); por $p_1 p_2 p_3 p_4 p_5$ los precios indicados al fin del esperimento;

$c+(b-e)$ será la fatiga ó trabajo de la parte de carretera correspondiente al corte ó trozo núm. 3, si se tiene $P_3-p_3=P_2-P_5$.

Pero aun hay en este método la dificultad de tener conocimiento exacto del volúmen de material empleado en puntos limitados de la carretera. Esta dificultad tiene gran influencia en la determinacion del desgaste, cuando se trata de una carretera bien conservada, pues dos cortes próximos presentarán al principio y fin del esperimento las mismas diferencias de volúmen. Pero respecto de la cantidad de material sólido puede haber grandes variaciones por causas accidentales, y producirse errores por esta causa.

Esta dificultad se salva cuando se emplea el sistema misto, ó de recargos periódicos cilindrados hechos cuando se ha desgastado cierta cantidad el firme, pues se sabe en este caso el material que ha entrado por kilómetro y el tiempo que ha tardado para reducirse un décimo, por ejemplo, ó sea la duracion y el material gastado en bachear en la conservacion permanente en este tiempo: así se tiene el total volúmen de material y el espesor de firme que representa el desgaste. Es fácil de determinar tambien al principio del esperimento la cantidad de material sólido ó que esceda de 2 centímetros de lado.

Digitized by Google

Si se quiere comparar la parte esperimentada con otro trozo de carretera de la misma clase de material, pero de diferente composicion interior, bastará, despues de examinar la cantidad de material sólido que contiene, verificar el mismo esperimento, conservar unida la superficie y dejarla desgastar hasta el mismo espesor medio. Si la cantidad de material empleado en mantener unida la superficie ó en conservacion permanente, es la misma, la sola relacion de los tiempos invertidos en desgastar el mismo grueso, será la del valor de ambos firmes.

Hay otro medio de comparacion: cuando permanece constante durante el esperimento la composicion del firme que se quiera comparar, basta mantenerle al mismo nivel por medio de la conservacion durante cierto número de años, y concluir el consumo anual de material.

Siguiendo este método, deduce el ingeniero Graeff en una nota inserta en los *Anales de* 1851, que en un trozo de carretera sin cilindrar se habian gastado 260 metros cúbicos de piedra por año, cuando en otro cilindrado solo habia sido este gasto de 159.

Hace observar Gasparin la atencion que reclaman estas observaciones; en el caso citado de la comparacion de dos firmes no debe olvidarse que en uno de ellos, el desgaste se ha formado á espensas de los materiales sólidos, mientras que en el otro proviene en parte del detritus que se ha empleado en el cilindrado. Por ejemplo, de los 159 metros cúbicos de desgaste anual de la carretera cilindrada, quitando 25 empleados en la conservacion, quedan 134 que se han consolidado por medio de 40 metros cúbicos de detritus, de modo que el desgaste total es de 174 y la relacion del valor del firme sin cilindrar y el que consideramos es de $\frac{174}{260}$.

Suponiendo que el firme sin cilindrar contenga 0,52 metros cúbicos de materiales que escedan de 2 centímetros, término medio, que toma Gasparin para las carreteras de Francia, y el cilindrado 0,90, para esta diferencia de 0,38 en la composicion del fir-

Digitized by Google

me, el desgaste aumenta 62 metros cúbicos, y se deduce que la diferencia de composicion del firme puede aumentar el desgaste un tercio en una carretera con las mismas condiciones de materiales y circulacion.

Gasparin dice que cuando quiera determinarse la resistencia de un firme al desgaste, habrá que tener en cuenta la composicion de él, ó sea el grado de atenuacion ó disminucion del volúmen de los materiales que contenga.

Recapitulando las circunstancias que hay que tener presentes para calcular el desgaste de un firme, se ve que la circulacion no es elemento fijo, pues para serlo habria que tener en cuenta las cargas. La fatiga ó desgaste crece mas rápidamente que las cargas para la misma calidad del material, y esta no puede entrar como elemento fijo para determinar la fatiga ó desgaste de un firme, pues para la misma calidad el desgaste varia segun el grado de atenuacion del material.

No siempre la diferencia de composicion de los firmes al principio y fin de la esperiencia será toda debida á la circulacion ó falta de cuidado de conservacion, sino tambien á la descomposicion por causas atmosféricas; el desgaste variará con el clima, y el resultado que se obtenga solo podrá servir con regular aproximacion, para calcular aquel en la misma carretera en que se verifique el esperimento.

Se debe apreciar la cantidad de materiales desgastados por el peso, y no por su volúmen, en razon á las variaciones que esperimentan los huecos que hay entre las piedras, cuando se emplean, y á la densidad que adquiera el firme despues (*).

(*) Gasparin critica el modo de valuar el desgaste indicado en la circular del ministerio de Obras públicas de Francia de 1850, y tambien el de la mano de obra para el empleo de materiales, que se ha fijado en dos jornales por metro cúbico de material, pues influye en este el tiempo perdido, la longitud del trozo que tiene el peon á su cargo, las interrupciones de trabajo, etc. Tampoco la mano de obra total, que se aprecia en dicha circular en 40 jornales por kilómetro, no está justificada, pues varia con el ancho del camino, clima, longitud de trozo, etc.

Critica la Memoria de Dupuit sobre gastos de conservacion y la apreciacion de estos por Graeff, de 1851, por haber tomado los datos de la circular referida.

Digitized by Google

Gasparin establece la fórmula que liga las condiciones de desgaste ya enunciadas, que es:

$$u=P+p-P'+A(w-w'),$$

u desgaste; P peso del *corte* al principio de la esperiencia; P' peso del mismo al fin; p peso del material desgastado durante el esperimento; w peso de los fragmentos que pasan de 2 centímetros al principio del esperimento; w', al fin; A diferencia de desgaste, en peso, correspondiente á la unidad de diferencia en la proporcion de materiales que pasan de 2 centímetros, que contiene el firme.

$P+p-P'$ será la disminucion en peso del firme.

$A(w-w')$ la disminucion de resistencia.

Si x es el precio de la piedra machacada, u el cubo medio de material correspondiente al peso que representa la fatiga anual de un kilómetro, ux será el gasto por kilómetro.

Mano de obra que corresponde al desgaste.

La valuacion de la mano de obra que corresponde al desgaste, puede descomponerse en una cantidad constante relativa á la carga de las carretillas para estraccion del detritus ,etc., y otras variables, en razon de la superficie en que ha de emplearse un metro cúbico de material y que se componen de la conduccion ó maniobra de la carretilla, una parte de la estraccion de detritus, etc.

Por los esperimentos de Bardonnaut, Dupuit, Dumas y Berthault se ve, que el quitar una capa de 1 á 2 centímetros de polvo ó lodo, cuesta casi lo mismo que quitarla cuando tiene de 2 á 4. El tiempo gastado en el empleo de un metro cúbico de material, varia con el cuidado ó esmero en verificarle, pues Dumas, que es el que ha llevado mas al estremo esta circunstancia, llegó á invertir mas de cinco jornales por metro cúbico. Dupuit en una carretera, cuyo desgaste era de 126 metros cúbicos por kilómetro y año, valuaba este tiempo en jornal y medio.

La mano de obra varia independientemente de la circulacion, con el clima, ancho del firme y perfil longitudinal: tomando

Digitized by Google

los resultados obtenidos por varios ingenieros, deduce Gasparin

$$p'n\,(0{,}92\,u+41{,}67)$$

para el gasto correspondiente á la mano de obra, relativa al desgaste de un firme por un kilómetro; p' es el jornal del peon caminero, n la mano de obra por metro cúbico, u el desgaste por kilómetro, cuyo mínimo fija en 23 metros cúbicos por año y en 300 el máximo.

Mano de obra en los accesorios del firme.

Para obtener los demas gastos examina la pérdida de tiempo del peon en llegar hasta el punto en que esté el trabajo, y suponiendo que tiene que andar diariamente 36 kilómetros, deduce 8,33 jornales anuales por este concepto.

Los trabajos que tiene que efectuar el peon de recorrido de obras de tierra, limpia de nieves, etc., varia con las diversas circunstancias de posicion, trazado, etc., y es independiente de la circulacion. Si se designa por l la longitud en kilómetros que tiene que andar el peon diariamente, y son 300 los dias de jornal anuales, deduce para el gasto de mano de obra de las obras accesorias, $p'\frac{300}{l}$.

Gastos de vigilancia

Los gastos de vigilancia son variables con la longitud del trozo, y se componen de una parte constante, que depende de la longitud que tiene que visitar el capataz, la cual no debe esceder de un dia de marcha, y otra parte variable de la longitud de carretera, que el capataz tenga á su cargo. La fórmula que da este gasto de vigilancia es

$$p'\,[13.50+\frac{25}{l}+n\,(0{,}08\,u+3{,}40)]$$

y el gasto total

$$G=x\,u+p'\,[13{,}50+\frac{325}{l}+n\,(u+45)].$$

Deduce tambien los límites del gasto, que varian en la relacion de 1 á 26, aun en las circunstancias mas desfavorables y no en la de 1 á 150, 1 á 100 ó 1 á 40, que establece Dupuit.

En la Memoria á que nos referimos se deduce cuál ha de ser la

Digitized by Google

distribucion general de los fondos de conservacion de carretera, segun el desgaste, ancho del firme, longitud de trozos, etc., que será útil consultar, por aquellos que tengan que ocuparse de esta parte del servicio de obras públicas.

Se volverá á tratar de esto en la seccion correspondiente á la organizacion del servicio de carreteras.

Gasto total de conservacion.

Los gastos de conservacion de las carreteras varian de un punto á otro y por las diversas circunstancias que pueden tener lugar, segun se ha visto anteriormente. Para deducir un término medio algo exacto, era necesario tener la estadística, exacta tambien, de los gastos de las carreteras que pudiesen considerarse en estado de *conservacion normal*, ó sea en buen estado de viabilidad. No es posible obtener estos en España, porque no se encuentran la mayor parte de sus carreteras en este caso; sin embargo, teniendo en cuenta el valor de los jornales y material y segun algunas observaciones que hemos hecho sobre este particular, creemos que el valor de 10,000 á 12,000 rs. por legua y por año para mantenerlas en buen estado, será un término medio que podrá adoptarse para el gasto total de conservacion, suponiendo que estuviesen ya en estado normal. En Francia sale de 12 á 14,000 rs. por legua española. Se entiende esta cantidad, tomado el conjunto total de carreteras.

El mal estado en que se encuentran nuestros caminos hace que exijan en la actualidad mucho mas que esta cantidad. El presupuesto general formado á fines de 1853 para la *reparacion* de 1,200 leguas de carreteras generales y mistas, ascendia á 65.000,000 de reales, que sale, término medio, por legua á 55,000 rs.: este gasto irá siendo cada vez mas considerable, si no se destinan mayores fondos para repararlas, y conservarlas despues en buen estado.

Para hacerse cargo de lo que sucede en la mayor parte de nuestras carreteras, basta examinar lo que pasa en algunas; nada creemos mejor ni mas oportuno para este objeto, que las Memorias ó notas sobre el estado y necesidades de las carreteras del distrito de Búrgos, redactadas por los ingenieros D. Juan Orense y D. Caye-

Digitized by Google

tano Gonzalez de la Vega, insertas en la *Revista de obras públicas* de este año. La primera es relativa á la carretera de Santander á Palencia, que es una de las mas frecuentadas de España, y la otra relativa á las carreteras de la provincia de Búrgos.

La oportunidad de las consignaciones para atender á la conservacion de las carreteras, es una circunstancia que debe tenerse muy en cuenta por la administracion, porque de no verificarlo de este modo, los deterioros son cada vez mas sensibles, los gastos despues mas considerables y los perjuicios causados al público incalculables. Por esta razon, los distritos deberian saber con tiempo de qué consignacion pueden disponer, verificar los gastos segun las necesidades de cada carretera y en las épocas que los ingenieros conociesen era oportuno verificarlo. De otro modo sucede, que se piden á los distritos presupuestos de los gastos que exigen las carreteras, por ejemplo para material destinado al firme; en el caso de haber fondos se consignan, pasando mas ó menos tiempo en la tramitacion; se procede á las subastas en el tiempo marcado para la licitacion; si se verifica esta, pasa á la aprobacion superior y aprobada se procede á los acopios, machaqueos, etc. Con frecuencia sucede, que en todos estos trámites se obtienen los materiales para el firme en estacion inoportuna para emplearlos, y hay necesidad de esperar algunos meses para verificarlo; el resultado viene á ser, por último, el que la carretera exija ya en este caso mayores gastos que los que se presupuestaron al principio.

NOTA. En la circular pasada por el gobierno francés á los departamentos en 1844 relativa al censo de circulacion, se dice: «El nombre de *collera* (collier) se aplicará indistintamente á todo animal de tiro tanto á las mulas, machos y bueyes como á los caballos; un par de bueyes se contarán por dos colleras.

La circular pasada en 1851 con el mismo objeto dice así: La gran desigualdad que existe entre la fuerza de los diversos animales de tiro, impide el aplicar indistintamente el nombre de collera; se deberá en general no contar las mulas, los machos y los bueyes sino por su fuerza real tomando el caballo por unidad: así es que en ciertos departamentos un par de bueyes no se cuenta sino por una collera, pero como por otra parte es necesario que el número real de colleras de fuerza igual figure en el censo de cada departamento, no se hará abstracion de las caballerías de refuerzo á no ser teniendo en cuenta su número y la distancia que andan, en el cálculo del peso medio asignado á una collera.

Suele calcularse la equivalencia de las caballerías ó animales de tiro cuando no arrastran cargas completas, contando por un tercio á un cuarto de collera cargada, la de los carruajes de viajeros ó de vacío en las mercancías.

Digitized by Google

CUARTA SECCION.

EFECTOS PRODUCIDOS POR LOS CARRUAJES Y CABALLERIAS SOBRE LOS FIRMES Y SU INFLUENCIA PARA ESTABLECIMIENTO DE PORTAZGOS.

Observaciones sobre las cuestiones que han de tratarse.

Examinados los sistemas de construccion y conservacion de carreteras, creemos interesante analizar la influencia que el tránsito puede ejercer sobre ellas y las consecuencias que se han deducido en su vista relativamente al establecimiento de portazgos. Se verá las grandes dificultades que presenta el establecer derechos equitativos en compensacion de los daños causados por la circulacion en las carreteras, en razon á la imposibilidad de apreciar la influencia de cada motor ó de su combinacion en el tiro, de las cargas, del estado ó construccion de los carruajes, naturaleza del firme, etc.

Indicaremos primeramente las observaciones y esperimentos de Mr. Morin, sobre los efectos producidos por los carruajes en los firmes, estractando despues las investigaciones de Courtois, fundadas en parte en las de Lowel; Edwort, Sehwilgné y Morin; daremos á conocer tambien las opiniones de Dupuit y Berthault Ducreux sobre las influencias de los carruajes y caballerías en los firmes, y por último estractaremos el informe de la comision nombrada en Francia en 1849, relativo á la policía de circulacion, y las conclusiones á que dan lugar las distintas circunstancias que hay que considerar en estas cuestiones.

Esperimentos de Morin

Al tratar Mr. Morin de los esperimentos verificados por él relativamente al tiro ejercido por las caballerías en diversos casos, analiza del modo siguiente los efectos observados.

Digitized by Google

Influencia del diámetro de las ruedas.

Las ruedas de gran diámetro disminuyen la fuerza de tiro que han de ejercer los animales que arrastran los carruajes, y por consiguiente, deben causar menos desagregacion en los materiales del firme, que cuando se emplean ruedas de pequeño diámetro. Los esperimentos verificados en ruedas de 0^m872 de diámetro, de 1^m453 y 2^m029, y cargadas con pesos iguales, lo han comprobado dando por resultado mayores degradaciones en el carril que formaban las de diámetros menores.

Influencia del ancho de las llantas y cargas.

Los esperimentos verificados con carruajes iguales en todo, menos en el ancho de las llantas y en las cargas, dieron á conocer, que la proporcionalidad en las cargas y el ancho referido es mas bien desfavorable que conveniente para los firmes. Los mismos carruajes cargados con pesos iguales, cuando sus llantas tenian 0^m060 de *ancho* produjeron degradaciones mayores que las de 0^m115, pero escediendo de este ancho no ofrecian apenas ventajas respecto de sus efectos. Cuando los carruajes transitan por firmes consolidados y duros y se disminuye el ancho de las llantas, aumenta la fuerza de tiro, pero en corta cantidad, deduciéndose de aquí, que cuando existen dos cargas capaces de producir degradaciones iguales, no crecen estas proporcionalmente al ancho referido.

Influencia de la velocidad.

Las resistencias que tienen que vencer los animales de tiro arrastrando cargas dadas, crecen con la velocidad; así cuando marchan aquellos al trote deberán producir mayores deterioros en una carretera, que cuando lo verifican al paso. Estos efectos pueden compensarse en gran parte montando los carruajes sobre muelles. Para determinar la influencia de la velocidad empleó Morin dos carruajes, uno suspendido en muelles y otro de suspension fija, poniendo primero una carga de 6000 kilógramos, y cuando el camino estuvo ya en mal estado de 5000 kilógramos. El primer carruaje marchó al trote con la velocidad de 11 á 13 kilómetros por hora, y el segundo al paso á razon de 3,6 á 4,6 kilómetros; las degradaciones en ambos casos fueron casi las mismas.

Digitized by Google

Los esperimentos comparativos verificados con cuatro clases de carruajes, con el objeto de ver si los carros tirados por una sola caballería y con llantas estrechas degradaban mas las carreteras, que los grandes carros de trasporte de ruedas con llantas anchas, dieron á conocer era ventajoso el fraccionamiento de las cargas, pues de este modo se degrada menos el firme. Fundado en el anterior resultado opinaba Morin, que convendria limitar las cargas de los carros de trasporte á 3,500 kilógramos sobre cada juego de ruedas, considerando como una carga escesiva la que llega á 150 kilógramos por centímetro del ancho de la llanta.

Los esperimentos anteriores se verificaron haciendo marchar los carruajes por una misma huella, y procurando mantener el firme en el mismo estado de humedad.

Investigaciones de Courtois.

Courtois esplica del modo siguiente las acciones recíprocas de los carruajes y caballerías en los firmes.

Accion de los carruajes.

La accion del acarreo depende del estado del firme, de los carruajes y de los tiros ó troncos enganchados en ellos. En los firmes lisos y resistentes las ruedas marchan sin hundirse ni chocar; cuando los firmes están en mal estado ó la superficie es desigual, una parte de la fuerza viva se destruye, crece la intensidad del tiro y hay pérdida de esta fuerza en vencer los obstáculos que presentan los baches. Para las consideraciones que siguen se supone un firme bien conservado y con la superficie unida.

La accion de un carruaje puede considerarse como reducido al de sus ruedas y depende de las cargas y de la forma y movimiento de aquellas. El peso ó carga es el que produce mas efecto cuando escede cierto límite; despues sigue el que depende de la forma de las ruedas y principalmente de las llantas; y en fin, el degaste inevitable, pero lento, de la caja superior del firme debido á la *rodadura*.

Las tres clases de accion que puede ejercer un carruaje en el firme, que son el hundimiendo del material, su trituracion ó aplas-

Digitized by Google

tamiento y el desgaste, pueden distinguirse en degradaciones, deterioro y desgaste.

Los dos primeros efectos pueden modificarse; para reducir el primero basta fijar límites á las cargas en relacion con la resistencia del material del firme, y en ciertas épocas del año, modificar la circulacion. El segundo efecto se atenuaria estableciendo cierta relacion entre el ancho de las llantas y los pesos autorizados para distribuir la presion sobre mayor superficie. El tercer efecto, cuando solo resulta del movimiento no podria modificarse; pero crecerá considerablemente si aumentan la desigualdades del firme, ó sean los dos primeros efectos.

Si en la estacion en que los elementos de la capa superior del firme están desagregados, transita un carro de llantas estrechas y muy cargado, estas hacen oficio de cuña, separan la piedra con facilidad y forman rodadas; este efecto puede evitarse prohibiendo las llantas muy estrechas.

Si las llantas en vez de ser cilíndricas son cónicas, como las de algunos carruajes en Inglaterra, la circunferencia interior de la llanta, que es la de mayor radio, se aplica al firme esperimentando solamente el rozamiento de rodadura, mientras que la esterior sufre á la vez el de resbalamiento, y produciendo este último sobre el firme un efecto mas destructor que el primero, aumenta los gastos de conservacion sin ventaja real que pueda compensar el gasto; esto puede evitarse proscribiendo las ruedas cónicas.

Lo indicado esplica el mayor desgaste de las ruedas de las mensagerías del lado esterior que del interior.

Del mismo modo que es conveniente estén los firmes lisos é iguales, es tambien el que las llantas no tengan resaltos ni agujeros, porque cada resalto haria que el peso apoyase solo en una piedra por ejemplo y produciria su aplastamiento. Por esto debe obligarse á que remachen los clavos, de modo que cuando sean nuevos no escedan de medio centímetro; prohibir las llantas con rebordes y las compuestas de fajas que dejen mas de un centímetro de huelgo

Digitized by Google

entre sí, obligando á unir bien los trozos de llanta y que sus juntas sean oblícuas (*).

Siendo el firme compacto y casi plano, las ruedas bien cilíndricas, sus llantas lisas y la carga moderada, solo se producirá un desgaste lento; como el tiro y la presion son independientes de la velocidad, resulta que el desgaste que proviene de la rotacion de las ruedas no variará con la velocidad, ó permanecerá sensiblemente constante, cualquiera que sea la rapidez del movimiento, con tal que estén las cajas suspendidas en muelles; estos disminuyen la fuerza del tiro y permiten pasar sobre una piedra ú otro obstáculo poco saliente sin que se eleve el peso y la caja.

Accion de las caballerías.

Las caballerías enganchadas en los carruajes obran sobre el afirmado por la presion de sus pies cuando van al paso, y ademas por el choque cuando van al trote ó galope. Si arrastran un carro cargado y van al paso, el choque es muy pequeño y la accion de los pies se reduce á rozar y comprimir la capa superior del firme. Como la presion que puede efectuar el pie de una caballería, produce rara vez un efecto mayor de 400 kilógramos, se concibe que una caballería que marcha sobre un firme, sin inclinar su casco ó pezuña, apenas causará daño. Cuando se apoye en el firme inclinando aquel, como sucede al subir una rampa, y en general cuando ejerce un gran esfuerzo, obra entonces la presion oblicuamente sobre la superficie del firme, desune los elementos de la capa superior y causa daños, que varian segun el estado del camino y la mayor frecuentacion.

Existe cierta relacion entre el desgaste de las herraduras y el rozamiento. Segun las observaciones del ingeniero inglés Macueil, este desgaste es una sesta parte mayor que el de las llantas del

(*) En varias provincias de España es muy frecuente el uso de llantas con clavos de resalto en las ruedas de las carretas; con esta disposicion encuentran ciertas ventajas los carreteros para subir las cuestas de las montañas; pero ademas de lo espuesto por Courtois, los resaltos al girar las ruedas obran como martillos en el firme, y contribuyen de este modo á su deterioro; por estas causas se ha tratado de desterrar su empleo, recargando los derechos de portazgo cuando las carretas llevan dicha clase de ruedas.

Digitized by Google

carro á que van enganchadas las caballerias; admitiendo tambien que esta relacion subsiste del mismo modo entre el daño causado en el firme por las ruedas y el causado por los pies de las caballerías, se puede decir que el primer daño es al segundo como 1 á 1,16, ó que la accion de los pies de las caballerías produce un efecto algo mayor que el que resulta del movimiento de las ruedas; por consiguiente sino se tiene en cuenta mas que el daño producido por el movimiento de las ruedas, no se aprecia la mitad del daño causado por el paso del carruaje.

Considerando el tronco de una mensajería, la velocidad no aumentará el desgaste de las llantas debido al movimiento de las ruedas, porque en un firme bien construido el rozamiento de rodadura es independiente de la velocidad y proporcional á la presion; pero los choques producidos por los pies de las caballerías aumentarán el daño de un modo notable.

Segun observaciones del mismo Macueil, únicas sobre este objeto, el desgaste del hierro en las llantas de las ruedas de diligencias, no es mas que un tercio del desgaste de las herraduras de las caballerías de su tiro; en este caso no puede admitirse como en el de las caballerías enganchadas á los carros, que el daño causado en el firme sea proporcional al desgaste de las herraduras, porque respecto de los pies de las caballerías se descompondrá en dos partes; la primera igual al desgaste de las llantas, debe considerarse destinada á vencer la resistencia debida al rozamiento, y la segunda parte doble de la primera es el resultado de los choques, los cuales producen en el firme un daño que crece con la velocidad, en una relacion que varia con la naturaleza de los materiales.

Resúmen.

— En resúmen se puede concluir, que sobre firmes en buen estado, el tronco ó tiro de un carro cargado convenientèmente y marchando al paso, produce un daño que parece ser algo mayor que el causado por el movimiento de las ruedas; que el daño causado por las caballerías de tiro de un carruaje que marcha con velocidad, causa un daño triple del que produciria si fuese al paso, y, por último,

Digitized by Google

que cuando una caballería va enganchada á un carruaje y marcha con velocidad, debe atribuirse al choque producido por sus pies, mas de los dos tercios del daño que causa por las demas circunstancias.

Resultados de varias opiniones.

Se ve por lo que antecede la influencia que, segun Courtois, pueden tener sobre los firmes de las carreteras, las cargas, la forma de las llantas, los pies de las caballerías, las diferentes velocidades con que marchen estas, y las demas circunstancias que presenta el acarreo. Navier creia tambien no ser posible obtener buenos firmes sin la limitacion de las cargas; Boisvillette tambien opinaba que no convenia admitir por cada centímetro de ancho de la rueda y en carruajes al paso una carga que escediese de 100 kilógramos. Morin considera esta carga escesiva cuando asciende á 150 kilógramos por centímetro del ancho de la llanta, y limita á 3000 kilógramos la carga sobre cada par de ruedas.

Opinion de Dupuit sobre la industria de trasportes.

Dupuit es uno de los ingenieros que mas se han ocupado de las cuestiones relativas á la conservacion de carreteras, y en sus escritos sobre estas, y fundándose en sus propias esperiencias, hace las siguientes observaciones.

Dice que esceptuando el caso de ser demasiado estrechas las ruedas, en el cual no pueden aplicarse bien las leyes del rozamiento y del tiro de caballerías, debe dejarse á la industria de trasportes el resolver las cuestiones relativas al ancho de las llantas, consultando la estabilidad de los carruajes, y la solidez y duracion de las ruedas. Respecto de su influencia sobre el firme hay que considerar, que desgastándose los bordes de una llanta de 17 centímetros de ancho, por ejemplo, queda reducida á 11 centímetros al cabo de algunos meses, y es ilusoria la ventaja atribuida á las de mayor ancho. Segun sus esperimentos el diámetro de las ruedas ejerce mayor influencia en el deterioro de un firme, que el ancho de las llantas.

Es de opinion que lo mas esencial seria el disminuir las cargas, de modo que no escediesen del límite de resistencia del material que se emplee en el firme, y cree que si se impusiese como límite

Digitized by Google

una carga de 4000 kilógramos, los materiales no se desgastarian sino por el rozamiento.

La industria de trasportes tiene interés en aumentar las cargas, pues el tiro permanece proporcional á la presion, y el peso inútil y los gastos de conduccion disminuyen cuando los cargamentos aumentan. Es al contrario de interés para la conservacion de carreteras el fraccionar los cargamentos para obtener presiones absolutas inferiores, como se ha dicho, á la resistencia de los materiales del firme.

El aumento del ancho de la llanta, es un remedio ilusorio del mal causado por el esceso de carga, y es una traba de que se puede sin inconveniente desembarazar á los trasportes, y en recompensa podria bajar aquella á 2000 kilógramos por rueda sin aumentar el precio de la conduccion. Basta exigir un ancho mínimo de rueda y una presion máxima para conciliar el interés de los trasportes y el de las carreteras.

Observaciones de Berthault Ducreux.

Berthault Ducreux se ha ocupado tambien de las diversas influencias que ejercen en el firme las dimensiones de las ruedas, cargas, etc., deduciendo consecuencias relativas á la policía de circulacion de las carreteras; vamos á indicar sus observaciones sobre el particular.

En primer lugar no está conforme con los esperimentos verificados por Dupuit, y cuyos resultados han sido, que tiene mayor influencia el diámetro de las ruedas, que el ancho de las llantas en el deterioro de un firme. Tampoco está conforme con el modo de verificar los esperimentos de Morin.

Partidario Berthault Ducreux de la circulacion por las carreteras sin que haya trabas de ninguna especie, cree que si no se impusiese límites á las cargas, no por eso se adoptarian grandes por el tráfico, pudiendo admitirse que no cargarian mas los carruajes que 200 á 210 kilógramos de peso por zona de un centímetro de ancho de la llanta, pues de lo contrario se desgastarian estas demasiado. Las llantas anchas dice que aunque desgastasen mas el firme, sin

Digitized by Google

embargo, hacen por otra parte buen servicio, y la adopcion de llantas de forma curva, aunque aumentasen algo los gastos de conservacion, podrian tener ventajas para los trasportes.

El contacto real de las llantas sobre el firme depende en general del grado de compresibilidad de este, del ancho de aquellas y del peso del carruaje; ademas de esto varia tambien la carga por unidad de contacto por varias causas, pues no siempre se apoyan las llantas por todo su ancho, sino que generalmente tienen la tendencia á verificarlo mas por su canto esterior.

La cifra total de colleras que transitan por una carretera, dice Ducreux, no da idea alguna de su fatiga ó desgaste, pues este es debido esclusivameute al peso de las cargas. Ni la cifra de circulacion, ni la cantidad de materiales empleados anualmente puede dar á conocer las necesidades reales del firme; el único medio exacto de averiguar las degradaciones y los gastos necesarios, es el de recoger y medir con cuidado los detritus en sitios convenientes, y deducir de esto cuanto material se desgasta por kilómetro. La fuerza de tiro es sumamente variable, pues depende no solo de la naturaleza de los animales, de su complexion, etc., sino de la union de los materiales del afirmado, de las pendientes ó sea del trazado, del estado mas ó menos desigual de la superficie del suelo, de su compresibilidad, del polvo ó lodo que contenga, de la adherencia mas ó menos considerable de la costra del firme con las llantas, y de otras causas (*). Por consiguiente, toda medida fundada en la cifra de frecuentacion para deducir los efectos producidos, no dará resultados exactos ni será equitativa.

Dictámen de la comision francesa.

La comision nombrada en Francia para formar el reglamento de policía de acarreo en 1849, discutió ampliamente sobre las ven-

(*) La resistencia debida al estado de union del material es de 1/23 á 1/25 de la carga; la fuerza de tiro es generalmente proporcional á las pendientes; las resistencias debidas al estado mas ó menos desigual, puede variar muchísimo; se toma desde 1/4 á 1/50 de la carga; la compresibilidad puede hacer duplicar ó mas la fuerza de tiro.

Digitized by Google

tajas é inconvenientes de la libre circulacion por las carreteras (*).

La minoría queria conservar los puentes básculas en los portazgos ó la limitacion de cargas, haciendo ver que si se establecia la libertad de estas manteniendo la limitacion de caballerías de tiro, se tenia el grave inconveniente de hacer una ley injusta para las provincias en que los caballos fueran de poca fuerza y no se podia tampoco prever las eventualidades que hacen variar la fuerza de tiro. Así un carruaje con 4 á 5 caballos malos faltaria á los reglamentos, siendo así qne llevaria menos carga que otro que tuviese menos caballerías, pero de gran fuerza. Ademas que no podia admitirse que todos los empleados faltasen á su deber, como se habia supuesto por algunos de la comision, presentando esto como un obstáculo para el establecimiento de los derechos de portazgo segun las cargas.

La mayoría creia no ser mas justa la limitacion de cargas, pues supone que la carga está repartida igualmente sobre las ruedas, lo cual rara vez sucede y era necesario pesar la carga sobre cada rueda, lo cual se habia tambien tratado de efectuar; seria necesario multiplicar estraordinariamente los puentes de báscula para que la disposicion fuese justa. Ademas la supresion de aquellos no haria aumentar escesivamente las cargas, pues no siempre los carruajes van en completa carga y se limita tambien esta por la resistencia de las ruedas y carruajes y el desgaste escesivo de las llantas.

En consecuencia del proyecto presentado por la comision y modificado por el gobierno y las cámaras, se suprimieron en 1851 los puentes de báscula estableciendo libertad de pesos y ancho de llantas. Sin embargo, para la mejor policía de circulacion se limitaron al *máximo* de 8 las caballerías de tiro para los carros de dos ó cuatro ruedas, y á seis para las diligencias en los casos comunes; en los casos estraordinarios ó especiales del trasporte de grandes pie-

(*) Puede verse el estenso informe de Dupuit sobre este proyecto de ley, en los *Anales de puentes y calzadas de* 1852, en el cual analiza las disposiciones que han regido en Francia sobre la policía de acarreo y trata de algunas cuestiones relativas á la conservacion de carreteras.

Digitized by Google

dras ú otros análogos, puede aumentarse el número pidiendo autorizacion para ello; en los casos de fuertes pendientes señaladas al efecto, en tiempo de nieves ó hielos y cuando hubiese reparaciones en las carreteras, tambien pueden ponerse caballerías de refuerzo. En algunas carreteras se establecen barreras en tiempo de hielos, fijando anuncios para que circulen carruajes con ciertas cargas.

Tambien los reglamentos fijan la limitacion de la salida de las cargas y cubos de los carruajes, la altura de estos, la velocidad en los puentes, y prohiben los clavos de resalto, estableciendo reglas sobre otros puntos relativos al tránsito.

Conclusiones.

Puede verse por lo espuesto las graves dificultades que ofrece el establecimiento de portazgos sobre bases justas, pues es imposible el establecer derechos proporcionales al daño que causan los carruajes y caballerías que transitan por una carretera. En efecto, no puede tenerse en cuenta la combinacion de causas que contribuyen al deterioro del firme; unas que dependen del estado de este, otras del estado y clase de los carruajes y de las cargas, otras, en fin, de la clase y naturaleza de los animales de tiro y de su número. Así todo lo mas que puede hacerse para el establecimiento de tarifas es verificarlo por tanteos mas ó menos prudentes, pero siempre lejos de la verdadera equidad.

QUINTA SECCION.

DESCRIPCION Y EXAMEN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE AFIRMADOS CONSTRUIDOS EN DIVERSAS CAPITALES.

Los diversos sistemas de afirmados deben apreciarse por las ventajas económicas que presenten y por las de conveniente viabilidad que proporcionen, y estas circunstancias en donde mejor

Digitized by Google

pueden estudiarse es en las grandes poblaciones, cuyas calles están muy frecuentadas; por eso hemos creido útil el estractar la parte relativa á nuestro objeto de un informe presentado en 1850 al ministro de Obras públicas de Francia, por el inspector de puentes y calzadas Mr. Darcy, relativo á los afirmados de Lóndres y Paris; en este informe se indican, no solo los diferentes sistemas de su construccion sino tambien de su conservacion.

Se estractará igualmente un artículo del ingeniero Baudemoulin, inserto en la *Revista de arquitectura* publicada en Francia en 1854, en el cual se da idea de los afirmados de las principales ciudades de Italia y se analizan tambien las ventajas é inconvenientes de los de Paris.

Afirmados de las calles de Lóndres.

Darcy hace una reseña de la circulacion que tiene lugar por algunas calles de Lóndres y de los sistemas de afirmados ensayados en ellas. La inmensa circulacion, dice, de muchos puntos, pues los hay, como por ejemplo, el puente *de Londrés* en el que se calcula 13,000 carruajes diarios, hace necesario, tanto por su número como por su velocidad, que el firme proporcione á las ruedas á la vez un firme resistente y compacto y en el que tambien puedan hacer pie las caballerías: así se han ensayado casi todos los sistemas desde el empedrado de goma elástica, hasta el empedrado de las piedras mas duras, de grandes y pequeñas dimensiones; tambien diversas inclinaciones respecto de las filas ó hiladas de los empedrados y los afirmados de madera; sin embargo no se habia ensayado el bituminoso. En algunas calles se construyeron tambien enlosados que sirviesen de carriles para las ruedas, con el centro afirmado para las caballerías.

El afirmado á la Mac-Adam parece que presentaba mas ventajas para las caballerías, evitando tambien el ruido producido en los empedrados. Esta última circunstancia ha sido la que mas particularmente ha hecho que se tratase de estender su construccion á las calles céntricas, en las cuales es insufrible el ruido y porque á causa de las vibraciones suelen salir de su aplomo los edificios; habién-

Digitized by Google

dose solo limitado á ciertos puntos, en razon al gran gasto que su conservacion ocasiona.

El empedrado tiene algunas ventajas relativas sobre los firmes comunes ó de piedra suelta, siendo una de ellas la salubridad, pues en calles estrechas y muy frecuentadas construidas por el último sistema indicado, es casi imposible tenerlas en el estado de limpieza conveniente, lo que no sucede con el empedrado, el cual se puede barrer y regar convenientemente. Tambien tiene ventaja cuando transitan carruajes muy cargados y que marchan lentamente, produciéndose en este caso disminucion en la fuerza de tiro.

El primitivo empedrado de cantos rodados se desechó y fué reemplazado por adoquines de granito de 8 á 9 pulgadas inglesas de ancho, 10 á 20 de longitud y 9 de cola, colocados sobre el terreno natural y rellenadas las juntas con cal y arena. Este sistema tenia el inconveniente de que se hundian ó desplazaban los adoquines por el paso de los carruajes, desgastándose con facilidad; eran resbaladizos y producian tambien mucho ruido, por lo que se abandonó este método, y se trató de estudiar una fundacion ó cimiento mas conveniente.

En el sitio mas concurrido de Lóndres, que es la Cité, se toman muchas precauciones para la construccion del empedrado; el método seguido generalmente es abrir la caja y rellenarla con una capa de piedra de granito machacada; sobre esta se echa una primera capa de arena, se coloca sobre ella los adoquines, se apisonan y despues se echa segun costumbre la segunda generalmente compuesta de $^1/_6$ á $^1/_7$ de cal por uno de arena, y luego se cubre con arena gruesa la superficie del firme durante dos ó tres semanas.

En otros sitios menos frecuentados, el método general de construccion es el de abrir 6 á 7 pulgadas inglesas de caja, rellenándola con una especie de hormigon compuesto de dos partes de piedra, uno de arena y $^1/_7$ á $^1/_8$ de cal y colocando sobre este el empedrado.

Todas las administraciones locales, á pesar de la independencia con que entre sí obran, han llegado á la conclusion de ser conveniente el dar á los adoquines solamente unas 4 pulgadas inglesas de

Digitized by Google

longitud, 9 de largo y la misma cola próximamente. La ventaja de los adoquines estrechos, parece ser el desgastarse casi uniformemente en vez de ponerse convexos al cabo de algunos años, como sucede á los anchos; ofrecen al mismo tiempo mas seguridad para las caballerías y producen menos ruido. El empedrado del puente de *Lóndres* se hizo de adoquines de granito de 3 pulgadas de ancho, 8 á 16 de longitud y 9 de cola, reposando sobre un almohadillado de piedra machacada de 18 pulgadas, como el que se indicó anteriormente, y á pesar de la gran circulacion, no se habia renovado al cabo de 8 años; se empleó con preferencia el granito de Aberdeen y Sorrel, que es una roca anfibólica.

Segun el informe de los encargados del empedrado de la Cité, podia este durar 50 años reparándose cada 8, y en el resto de la ciudad, cada 14 años.

Se va generalizando el hacer dos arroyos laterales en vez de uno central, tanto para dividir de este modo las aguas, como para evitar la inclinacion de los carruajes á un mismo lado, que puede producir choques, evitando tambien con esta disposicion los regueros transversales.

Para evitar el desgaste lateral de las juntas y el redondeamiento rápido de la superficie, se ideó el colocar las filas del empedrado inclinadas; pero las caballerías no pueden de este modo ejercer un esfuerzo normal al marchar, y cuando resbalan, la junta inclinada que encuentran no es suficiente para retener los pies; ademas se rompen con facilidad los ángulos de los adoquines; por esto se prefiere hacer las hiladas perpendiculares al eje y á juntas encontradas.

No se habia ensayado en gran escala el método seguido en Milan de hiladas longitudinales que presentan algunas ventajas para evitar el resbalamiento lateral de las caballerías; pero con la gran circulacion de Lóndres se destruiria pronto este sistema.

Relativamente á los precios de los empedrados de Lóndres, son variables segun el material que se emplee, pero indicamos á con-

Digitized by Google

tinuacion para que pueda servir de término de comparacion los precios de mano de obra.

Un empedrador gana en Lóndres.	24 rs.
Un ayudante..	15
Un cantero.	25
Un carro de un caballo.	39

Un operario empiedra, término medio, 50 metros cuadrados al dia.

Empedrado Taylor.

El ingeniero inglés Taylor al presentar en el instituto de Lóndres su sistema, hacia notar los defectos de los adoquines de grandes dimensiones, que son los que indicamos al principio, y el de producir roturas en los ejes y muelles en los carruajes.

Su sistema ensayado con éxito en Birminghan en la estacion de Euston y en una calle de Lóndres, consiste en abrir la caja de 16 pulgadas inglesas de profundidad, con la flecha adoptada para el firme; sobre esta colocar una primera capa de 4 pulgadas de grava gruesa; sobre esta, otra con algo de mortero, ambas apisonadas, siendo su objeto dar elasticidad al firme; despues otra tercera capa como las precedentes, cubierta con una pulgada de arena fina y finalmente los adoquines de 4 pulgadas de longitud, 3 de ancho y 3 á 5 de cola, segun el tránsito lo exija, apisonando despues y echando una capa de arena. Segun Taylor, construido el empedrado bajo este sistema, un carro de 10 toneladas no produce efecto alguno en él, y ofrece tambien mas seguridad para los pies de los caballos; resulta ademas una tercera parte mas barato que el antiguo sistema y si no ha producido tan ventajosos resultados en algunos puntos, consistirá en no haber seguido el sistema de fundacion prescrito.

Respecto de la duracion, los ensayos hechos al cabo de tres años y medio estaban en perfecto estado.

Hace notar Taylor que el éxito de los afirmados á la Mac-Adam consiste, como en su sistema, en mantener cierta elasticidad en las

Digitized by Google

capas de fundacion del firme, lo que no tiene lugar en el sistema de Telford, en el que reposa sobre una verdadera mampostería, destruyéndose como sobre un yunque, por la accion de los carruajes y produciendo ruido escesivo. Dice Darcy que los trozos que vió de este empedrado le parecieron muy buenos.

Empedrados con carriles de losas.

El sistema de empedrados con carriles de losas fué introducido en Lóndres por Wood é importado de Milan: su principal objeto era el de disminuir los sacudimientos, el ruido y el tiro de las caballerías; pero este sistema solo ha tenido ventajas en calles accesibles á una sola fila de carruajes y con una caballería ó varias en reata.

Firmes á la Mac-Adam.

Los firmes á la Mac-Adam se han construido hasta la Cité, siendo mas numerosos á medida que se alejan de los puntos de circulacion activa, pues lo mas perjudicial para ellos es el contínuo paso de los omnibus; sin embargo aun en parajes muy frecuentados, se han preferido á pesar del lodo y el polvo que producen y el escesivo gasto de conservacion, para evitar el ruido y el deterioro de los carruajes; pero aun el mismo Mac-Adam convenia en la imposibilidad de construir esta clase de afirmados en el gran centro de circulacion de la Cité, en donde se calculan 500,000 personas las que diariamente acuden.

En las grandes líneas del Oeste al Este y de Norte á Sur, á pesar de los crecidos gastos de conservacion, que ascendian á 18 reales anuales por metro cuadrado, y hasta 22 en el puente de Wesminster no podian conservarse en buen estado, y fué necesario sustituir un empedrado. En el puente citado habia un desgaste anual de 15 centímetros.

Segun las notas dadas á Darcy por Mac-Adam, hijo del inventor de los afirmados de este nombre, el método que se sigue es el mismo que se ha esplicado al tratar de los sistemas de construccion. El espesor del firme tiene unas 10 pulgadas inglesas en carreteras muy frecuentadas (de 9 á 10,000 carruajes diarios), 7 pulgadas en

Digitized by Google

las de segundo órden (de 1000 á 3000 carruajes de circulacion) y 5 en las de poco tránsito. El peso de cada piedra es unas tres onzas á lo mas. Se considera como preferible bachear cierta estension á la vez, picando el fondo, aprovechando el tiempo húmedo ó regando en verano.

Pigott Smith empleado muchos años en la conservacion de las carreteras de Birminghan, opina que podria construirse sin inconveniente los firmes macadamizados aun en las calles concurridas de las poblaciones, pues aunque fuese mayor el gasto de conservacion, tendria la ventaja de proporcionar comodidad á la circulacion. Este práctico establece casi los mismos principios de Mac-Adam que son el conservar el terreno seco, emplear buenos materiales en la parte inferior y piedra machacada de igual tamaño; mantener el firme bien unido y con el perfil conveniente, igualándole con la rastra y recebando con el detritus sacado del barrido. Aconseja regar para que no se desunan los materiales recien empleados, y quitar toda la piedra que se salga de su sitio, y en fin, el cuidado contínuo. Para quitar el lodo cree lo mas conveniente el empleo de la escoba mecánica, y prohibe para este uso la rastra, pues dice que desarregla el firme; aconseja el regar antes de barrer para que pueda obrar la escoba mas convenientemente. Este sistema difiere de Mac-Adam en el empleo del recebo.

No se empleaba todavía en 1850 el rodillo compresor á pesar de sus ventajas, debiendo considerarse, segun Darcy, que la superioridad de los firmes ingleses no es debida á progresos especiales en su construccion, sino á los cuidados minuciosos de establecimiento, á lo mucho que se gasta en su conservacion y á la buena calidad de los materiales que se emplean, pues no se perdona gasto alguno para obtenerlos de gran dureza; el mas generalmente empleado es una roca anfibólica y feldspática.

Gastos de construccion y conservacion.

Los gastos de conservacion de los afirmados de Lóndres se descomponen en los de riego, desenlodado y recargos.

El riego se hace dos veces al dia durante 6 ó 7 meses y á veces

Digitized by Google

mas; su objeto es, no solo evitar el polvo, sino tambien para reducir este á barro y quitarle mas fácilmente con la escoba comun ó la mecánica. Para el costo de construccion y conservacion de los firmes empedrados y á la Mac-Adan, resultan, segun las notas dadas por encargados de diferentes distritos de Lóndres, los siguientes

Precios medios.

	Reales.
Construccion del empedrado con adoquines de 0m 10 de ancho; el metro cuadrado.	66
Con adoquines de 0m 15, que son los mas empleados en dia.	92
Conservacion por metro cuadrado anualmente. . . .	1,8
Construccion á la Mac-Adam, metro cuadrado. . . .	19
Su conservacion por metro cuadrado, escepto algun caso escepcional.	4,6 á 12,0

Este último precio equivale á 171423 ó 447191 reales por legua española de firme de 24 pies de ancho, y á esto hay que añadir 2,5 de desenlodado y riego.

Firmes de madera.

Los adoquines de madera han sido desechados en Lóndres para la construccion de afirmados de las calles, pues la esperiencia ha dado, que á pesar de las ventajas de no producir ruido por el tránsito de carruajes, ni lodo, ni polvo, es peligroso para las caballerías, cara su conservacion y producen miasmas en tiempo de sequía, al evaporarse la humedad.

Afirmados de Paris.

Sistema administrativo y directivo.

La circulacion de Paris aun en los sitios mas concurridos, apenas llega á la mitad de ciertas calles de Lóndres.

La administracion de los afirmados está centralizada en Paris en el consejo municipal, el prefecto del Sena y el de policía, y de

Digitized by Google

la parte facultativa están encargados, un ingeniero jefe director y dos ingenieros jefes á cuyas órdenes están otros seis subalternos. Segun Darcy desean en Lóndres un sistema análogo por la complicacion que hay en la administracion, pues de unas calles cuidan juntas de los barrios, y de otras empleados nombrados por el gobierno.

Empedrados

El material empleado en Paris para el empedrado es la arenisca; los adoquines adoptados tienen en general $0^m 25$ de cada lado ó $0^m 25$ por $0^m 16$; la primera dimension se emplea en las calles mas escéntricas por las que transitan carros y carretas y la segunda en las calles principales. Se ha tratado en Paris como en Lóndres de disminuir el ancho de los adoquines; pero no ha podido adoptarse esta mejora por la calidad del material.

El sistema de empedrar consiste en colocar los adoquines sobre una forma de arena de $0^m 23$ de espesor, llenando igualmente las juntas con arena sola, apisonando despues y cubriendo el empedrado con una capa de arena durante 8 dias.

Para precaver las deformaciones se ensayó el colocar los adoquines sobre otros invertidos, es decir, apoyados sobre la cara mas ancha; pero ademas de ser costoso este método, producia un firme demasiado duro para la circulacion. Tambien se ensayó el construir el empedrado sobre un emparrillado de madera y aun sobre hormigon con lechada de cal en las juntas, con el objeto de hacerle mas sólido y disminuir el lodo y polvo; pero no ha podido estenderse su uso por las dificultades que se encontraban para la colocacion de cañerías y tubos de gas, que con tanta frecuencia tienen que establecerse. El perfil adoptado es el de arroyos laterales junto á las aceras.

El costo de construccion por metro cuadrado es, término medio, de 44 reales; el de conservacion 1,65 rs. anuales por metro cuadrado, y se destinan 5.000,000 de rs. anualmente para estos objetos.

Las calles de primer órden se reparan cada 6 ú 8 años; las de segundo cada 15 ó 20; las de órden inferior de 20 á 30.

Digitized by Google

La inferior calidad del material respecto del de Lóndres, no ha permitido ensayar el sistema Taylor.

Afirmado de piedra machacada.

En los Campos Elíseos se han construido firmes ordinarios, cuya construccion y conservacion es la que hemos dado á conocer al tratar de los sistemas de esta clase.

Firmes bituminosos.

Relativamente á las construcciones de firmes asfaltados se describen detenidamente en otra parte de este escrito las esperiencias hechas en Paris, por lo que ahora solo haremos mencion de algunas consideraciones que espone Darcy respecto de este sistema.

Dice que se han hecho dos objeciones: la primera relativa á la dificultad de descubrir y reparar las huidas de agua de las cañerías, habiéndose propuesto para remediarlo hacer en ciertos sitios un empedrado comun sobre los tubos, ó colocar tubos indicadores. La segunda objecion es sobre el resbalamiento que pueden tener las caballerías, pero en realidad no es mayor que en el empedrado comun, y tambien puede remediarse con una capa de arena y por el asfaltado en frio.

Para hacer ver las ventajas que ofrecen los firmes bituminosos, indica Darcy, que antes para obtener una carretera empedrada sólida y lisa, no se ocupaban mas que de la resistencia parcial de los adoquines que la componian, y de aquí el empleo de piedras muy anchas y gruesas; pero el desgaste era desigual, se desplazaban girando sobre sus ángulos, habiéndose llegado á la adopcion de piedras estrechas y al sistema de Taylor, que es un empedrado macadamizado.

Los principios que dieron lugar á la construccion de firmes con piedra machacada, sufrieron las mismas modificaciones; las piedras se han ido reduciendo á dimensiones cada vez mas pequeñas, colocándolas sobre materiales menos duros y que ofreciesen alguna elasticidad; pero en el primer caso no se ha hecho desaparecer el ruido ni el resbalamiento, ni en el segundo el polvo ni el lodo, y una carretera perfecta deberia ofrecer á la circulacion una superficie

Digitized by Google

lisa y compacta sin ser resbaladiza, y no producir polvo ni lodo. El asfalto empleado en caliente llena cuatro de las condiciones propuestas. El resbalamiento pudiera evitarse haciendo una superficie mas áspera por medio de arena y barriendo la pequeña capa de lodo que se adhiere en tiempo húmedo, ó todavía mejor con el empleo en frio de la roca asfáltica; este sistema despues de un año de construido, ha resistido perfectamente á los frios, calor y lluvias, y su conservacion era de poco costo.

Limpieza de las calles.

Hay en Paris 1784 fuentes que limpian 470873 metros de arroyos; son necesarias todavía 953 para otros 279651 metros; cada una debia dar 107 litros por minuto, pero las que existen solo dan 60; funcionan 3 horas al dia. Se emplean tambien cubas de riego.

En Lóndres no hay fuentes de limpieza.

El informe da muchos detalles relativos á la estadística de circulacion de Paris y Lóndres y sobre la organizacion de los consejos parroquiales de esta última capital y las informaciones abiertas respecto á la construccion y conservacion de las calles, los cuales son interesantes de consultar.

Observaciones sobre los sistemas de afirmados de las carreteras por el ingeniero Baudemoulin.

Empedrados de Nápoles, Florencia y Milan.

El ingeniero Mr. Baudemoulin, en sus viajes á Italia, fijó la atencion en el bello aspecto, limpieza y buen piso que presentan los empedrados de algunas ciudades y en particular las de Nápoles, Florencia y Milan, circunstancia que le hizo conocer, llevaban gran ventaja á los empedrados construidos en Francia.

En Nápoles las calles están empedradas con adoquines de lava, regulares, cuyas hileras forman ángulos rectos entre sí; á pesar de las cuestas de las calles, las caballerías están habituadas á estos empedrados y no resbalan.

En Florencia los adoquines son irregulares y de $0^{m}2$ de grueso;

Digitized by Google

su duracion es de 7 á 9 años, y el costo de su establecimiento de 23,85 reales el metro cuadrado.

Análisis de los sistemas de afirmados de las calles de Paris y comparacion con los anteriores.

Las calles de Milan están compuestas de dos zonas ó fajas de losas con una parte central de dados colocados de canto, formando así una via para que las ruedas pasen por las primeras y las caballerías marchen por la parte central.

Despues de las indicaciones anteriores, hace Baudemoulin algunas consideraciones sobre la sustitucion del empedrado propuesta y llevada á cabo en Paris en algunas de sus calles, por el firme á la Mac-Adam, á consecuencia del mal movimiento que produce en los carruajes, y del ruido que causa.

Relativamente al precio de construccion y conservacion de los empedrados de Paris, indica los ya referidos en la Memoria de Darcy, pasando despues á examinar los gastos causados por la sustitucion del sistema Mac-Adam, y las ventajas é inconvenientes que presenta tanto este como otros ensayados, deduciendo cuál seria en su concepto el mas ventajoso para las calles de gran circulacion de carruajes.

La consideracion del gran costo de conservacion del sistema Mac-Adam hace moderar el celo de los partidarios de la sustitucion de este á los empedrados. Dicha conservacion cuesta en Paris (en los bulevares) 16,5 reales al año por metro cuadrado, y el de construccion comprendido el cilindrado 11 á 13 reales. Hay que advertir que en el gasto de conservacion espresado, no está comprendido el causado en la limpia de alcantarillas por la gran cantidad de lodo que se saca del firme, ni tampoco el aumento de gasto por el riego, el cual debe ser abundante para evitar el polvo.

El precio anual de conservacion de las calles macadamizadas varia mucho segun el tránsito: como se ha dicho, en los bulevares (entre la Magdalena y calle del Temple) es de

16,5 reales metro cuadrado por año.
0,8 reales en el camino de Ronda.
17,42 reales en el puente Nuevo.
24,33 reales en el puente de Austerlitz.
14 reales en la calle Rivoli.

Digitized by Google

Los gastos ejecutados para conservacion de las calles que ascendieron en 1849 á 1.840,000 frs. han subido sucesivamente despues de la conversion de algunas al sistema Mac-Adam, á 2.500,000 frs. en 1854. Así, considerando la cuestion bajo el punto de vista económico seria necesario restablecer el empedrado, pues se sacaria el importe con la economía obtenida en 3 años de conservacion; pero como se verá despues puede sacarse mejor partido, segun Baudemoulin, por el sistema de carriles de losas.

El afirmado de asfalto, ensayado en varios puntos de Paris, merece fijar la atencion. El ejecutado en la calle Richelieu se hizo por contrata á razon de 47,7 reales metro cuadrado, y duró 6 años con poco gasto de conservacion; el gasto anual en este sistema, comprendido el costo de construccion, puede valuarse en 8 reales metro cuadrado, con un tránsito por lo menos igual al de los bulevares.

Sin embargo de todas sus ventajas los firmes asfaltados tienen el inconveniente grave de que resbalan en ellos fácilmente las caballerías, sobre todo en tiempo de humedad. Se han empleado con la combinacion de que se hablará despues en algunos puntos, en pendientes de 2 á 3 por 100, y durante el tiempo de lodo se hubiera interrumpido el paso frecuentemente, sino tuviesen estas pendientes una pequeña longitud, y no se hubiese cuidado de echar arena. Tambien se ha querido evitar este inconveniente estriando el piso transversalmente, pero desaparecen pronto estas estrías y no cumplen bien su objeto.

Este ejemplo prueba que el asfaltado es inconveniente en las pendientes, y aun en las partes horizontales lo es tambien para el tiro; ademas presenta la desventaja de que la conservacion tiene que hacerse levantando trozos é interrumpiendo la circulacion; asi este afirmado no da una solucion general.

La cuestion debe estudiarse segun Baudemoulin relativamente á los objetos que debe cumplir un afirmado y á las acciones á que está sometido. El principal objeto es obtener el *máximo de efecto útil*. Los *agentes* son los vehículos y el firme; ademàs la accion de los carruajes en el firme, de la cual resulta el desgaste, es produci-

Digitized by Google

da por las ruedas y las caballerias; la primera es mayor que la segunda en la relacion de 1 á 3.

De estos principios se deduce que un firme no debe ser homogéneo, sino compuesto de dos partes distintas; la una resistente y lisa para las ruedas, la otra mas áspera ó desigual aunque sin salir de la forma regular, destinada para las caballerías y esta no exige ser tan resistente ni costosa, presentando así tambien el firme buen aspecto y limpieza. De este modo se disminuirian las causas de accidentes y el tiro de las caballerías, y la circulacion no se entorpeceria por las frecuentes reparaciones á que dan lugar los demas sistemas de afirmados.

La solucion anterior es la que se ha obtenido por el sistema de empedrados de Milan, que antes hemos indicado. Todos los viajeros admiran su regularidad y aseo. En las calles de Lóndres y de Paris se ha logrado crear nuevos gastos y embarazos por la sustitucion del sistema Mac-Adam, en vez de aplicar otros mas en armonía con los elementos destructores tan considerables en estas poblaciones. Así este ingeniero propone adoptar el sistema de Milan poniendo dos ó mas vias de losas segun el tránsito. La mejor solucion seria el poner cuatro vías, dos en el centro para los carruajes que marcharan al paso en sentido contrario, y las otras dos para los que fuesen al trote. Este sistema podría establecerse conservando la parte macadamizada para las caballerías.

Existe un producto industrial resistente, con el cual se ha ensayado construir empedrados llamados metálicos, y con él podrian formarse las losas de los carriles, sin embargo de ser inferior en dureza al granito. Este producto está compuesto de mineral de hierro pulverizado, asfalto y turba; el ensayado en Paris constaba de 12 kilógramos de asfalto y 5 de turba para un kilógramo del mineral de hierro y costaba unos 40 reales el metro líneal de carril de 5 centímetros de espesor y con 0,7 de ancho cada faja, ó sea una tercera parte menos que cuesta el de granito. Esta composicion produce un piso escurridizo si se aplica en todo el ancho de las calles.

En resúmen, el sistema de carriles de losas de piedras ó metáli-

Digitized by Google

cas, presenta segun Baudemoulin la ventaja de disminuir el desgaste de las ruedas, el del firme y el ruido, el ser mas limpio y reducir á una mitad el tiro que han de verificar las caballerías.

SESTA SECCION.

ORGANIZACION DEL SERVICIO DE CONSERVACION DE LAS CARRETERAS.

Exámen de diversos sistemas de organizacion.

Desde que se consideró necesario el atender á la conservacion de las carreteras de un modo permanente, se trató de establecer peones fijos que se ocupasen de ella distribuidos en secciones ó trozos, cuyas longitudes fuesen las convenientes, segun el cuidado que en ellos se exigia; pero no todos creian esta institucion ventajosa opinando algunos que debian ejecutarse los trabajos de conservacion por cuadrillas ambulantes.

En el caso de haber peones fijos encargados de los trabajos de cada trozo, se ha discutido tambien si convendria auxiliar los trabajos de estos con peones temporeros en ciertas épocas del año, ó disminuir la longitud de los trozos de cada peon, para que pudiesen acudir á todos los trabajos oportunamente sin necesidad de auxiliares; y por último cual seria la longitud que convendria tuviese á su cargo un peon caminero.

Sistema de peones fijos y de auxiliares.

Berthault Ducreux fué de los primeros en proscribir el empleo de cuadrillas ambulantes y de auxiliares. En apoyo de su opinion dice que siendo distintos los útiles que exigen las carreteras de los que acostumbran á manejar los trabajadores del campo, no puede exigirse que los auxiliares ejecuten bien los trabajos de conservacion, acostumbrados á otra clase de herramientas. El desenlodado es un trabajo que generalmente se confia á estos trabajadores y es de los mas difíciles para que lo ejecuten bien, y aun suponiendo que lo hiciesen, los intervalos á que están sujetos harian perder

Digitized by Google

tiempo y dinero. Será mas conveniente gastar las consignaciones que se destinen para auxiliares y machaqueo de piedra, en peones camineros que ejecuten todos estos trabajos, acudiendo oportunamente á donde sea necesario.

Observa Ducreux que el empleo de la piedra en los baches, sino se hace con oportunidad gastando solo el material necesario, y en el sitio conveniente, ocasiona igualmente pérdida de dinero. Estas operaciones no pueden hacerlas bien los auxiliares; es necesario para ello peones prácticos y enseñados; los demas trabajos que se ofrecen en las carreteras no son tan urgentes y pueden ejecutarlos los peones camineros en épocas oportunas.

El machaqueo de la piedra necesaria para conservacion pueden ejecutarle los peones camineros (se trata de carreteras en estado de conservacion), cuando no tengan en qué ocuparse sobre el firme ó no lo permita la estacion; la saca y trasporte del material no debe ejecutarse por ellos, como no sea en el caso de estar la piedra contigua á la carretera, en cuyo caso podrá convenir que lo verifiquen: así que solo en el caso de una carretera en estado de reparacion, es cuando podrá convenir valerse de peones auxiliares.

Al examinar el ingeniero Moline la opinion anterior de Berthault Ducreux dice que es un error el creer no deben emplearse auxiliares y opina que lo que debe hacerse es aplicarlos oportunamente, pues es practicar el principio de la subdivision del trabajo. Trata de probar esto por el ejemplo de carreteras que estaban á su cargo, en las cuales habia épocas del año en que era necesario triplicar los trabajadores, siendo inútiles en otras. Tambien opinaba que salia mas económico el machaqueo verificado por los auxiliares que por los peones camineros, pudiendo ocuparse tambien ventajosamente en conducir piedra al peon caminero, y sacar el lodo fuera de la carretera.

El ingeniero Vignon opinaba que no siendo posible ocupar á los peones en ciertas épocas del año, ni en ciertas localidades en el machaqueo de la piedra, era aventurado haberse presentado por Berthault Ducreux como aplicable su doctrina en todos los casos.

Digitized by Google

Una buena organizacion de peones camineros y algunos auxiliares, cree ser el método mas conveniente para obtener el máximo de efecto útil ó la mejor conservacion con el menor gasto. Tambien dice que el sistema de Ducreux es el de máximo de gasto; pues el tener peones todo el año es equivalente al empleo de auxiliares, teniendo estos la ventaja de que se despiden cuando no son necesarios, encontrándose con facilidad y economía en el invierno, que es cuando lo son.

Longitud de los trozos de carretera de cada peon

El ingeniero Doré investiga en una Memoria publicada en 1837, cual será la longitud de carretera mas conveniente que deberá darse á los peones camineros, y cuál es la relacion que debe haber entre la distribucion de consignaciones y la mano de obra repartida entre peones camineros y auxiliares, y hace las siguientes consideraciones.

Si una carretera está en mal estado, hay que saber si se han distribuido en ella los fondos oportunamente, y si será conveniente con cierto número de peones camineros reservar parte de los fondos para auxiliares y material; aun conociendo por esperiencia el precio que se debia pagar á los peones por cada obra, habria que examinar si seria conveniente el aumentar el número de peones fijos, si podria dárseles trabajo en toda estacion, y si el material machacado por ellos podria salir al precio que se paga á los contratistas; así la cuestion principal consiste en averiguar si debe aumentarse el número de peones camineros, y qué longitud debe darse á cada trozo.

Dice Doré que no es económico como algunos han supuesto, el tener solo los peones camineros en ciertas épocas del año; esto seria un mal por la falta de organizacion de trabajos y la mala ejecucion de ellos; lo que debe buscarse es el mínimo de pérdida, viendo la longitud que debe tener cada trozo de que cuide un peon. Tampoco de las cuadrillas ambulantes cree este ingeniero pueden esperarse buenos resultados.

Supone el caso de una carretera en buen estado, que es el mas

Digitized by Google

desfavorable para la cuestion que se considera, en la cual el peon no tuviese que hacer sino desenlodar tres veces en el año; pudiendo desenlodar uu peon 100 metros lineales por dia, habria que darle un trozo de 6000 metros lineales á lo mas, para no tener que poner auxiliares.

Establece Doré fórmulas para hallar la longitud que en general debe tener cada trozo, teniendo en cuenta el tiempo perdido y los dias de trabajo, y halla que debe ser de 2485 á 5866 (*) metros lineales.

Berthault Ducreux al ocuparse nuevamente en una de sus Memorias de las diferentes cuestiones relativas á la conservacion de carreteras, contesta á las objeciones hechas por Moline en su escrito citado antes, y dice, que la operacion que este conceptua de poca entidad y que deja para efectuarla por los auxiliares, que es el tomar la piedra de los acopios y dársela al peon caminero, es precisamente operacion que necesita bastante inteligencia para saber qué cantidad de material deberá tomar, y no tener que quitar, por haber llevado mucho, ó volver por mas, por haber llevado poco, lo cual solo un obrero práctico puede ejecutar convenientemente. Ademas los baches necesitan en muchos casos desenlodarse antes de echar la piedra, operacion que es accidental y no es cosa de recibir auxiliares para trabajar fracciones de dia.

La division del trabajo dice que no es aplicable á este caso, por la gran dificultad de combinar el tiempo, de modo que no le pierdan unos ú otros trabajadores esperándose mútuamente: así aun teniendo obreros hábiles, es la longitud de carretera la que debe dividirse y no el trabajo.

El tomar la piedra de los montones tambien requiere esperiencia para elegir la mas ó menos á propósito y distribuirla oportunamente. El trabajar varios operarios juntos es perjudicial, pues se distraen y no se sabe cual es el que ha trabajado poco ó mucho.

(*) Esta longitud será muy variable segun el clima, tránsito, proximidad á poblaciones, etc.

Digitized by Google

El recorrido de obras de tierra debe tambien dejarse para ocupar oportunamente los peones camineros. Los auxiliares solo podrán ser oportunos para las reparaciones de las carreteras.

Hace notar Ducreux la falta de datos de la Memoria de Moline, y que las carreteras de su cargo no están en tan buen estado como las conservadas por su método.

Tambien sobre las indicaciones de Doré citadas antes, dice Ducreux no ser exacto el dato que aquel establece, y en el cual funda algunos cálculos respecto de las veces que necesitan al año desenlodarse las carreteras, pues algunos exigen se verifique 5 ó 6 veces y otros 15, 20 ó mas, en vez de 3 que supone aquel ingeniero; ademas la operacion referida tiene que hacerse en momentos oportunos del dia y no seria conveniente recibir auxiliares para trabajar por horas. Tambien el trabajo de quitar el lodo, tiene relacion con la distribucion de la piedra y á veces es el solo trabajo oportuno que hay que ejecutar, por lo que exije verificarse tambien por el peon caminero, prescindiendo por otra parte de la conveniencia de que este se ocupe alternativamente de varias operaciones. Respecto del machaqueo de la piedra, no es solamente en tiempo de heladas cuando se dedica á verificarlo el peon, sino en algunas otras épocas del verano, etc., de suerte que bajo este punto de vista tambien resulta que deberá dedicársele á dicha operacion, la cual verificará con perfeccion y que, habiendo la vigilancia suficiente, debe salir barata. En general puede decirse que los trabajos de conservacion se dividen en los de tiempo próximo y de tiempo mas ó menos oportuno y lejano, y los peones camineros pueden acudir á todos, estableciendo el número necesario segun la circulacion.

Opina Ducreux que no deben darse trabajos marcados ó tareas á los peones camineros, siendo lo mas conveniente, que bien instruidos y vigilados como deben estar, se ocupen de las operaciones que exige el momento con oportunidad; y cuando duden del trabajo que han de ejecutar ponerse á machacar piedra.

Para establecer la longitud de carretera ó el trozo que ha de

Digitized by Google

tener cada peon caminero á su cargo, establece una relacion entre este y el tránsito que haya por la carretera, relacion que deduce de sus observaciones. Para saber el número de peones que debe haber por legua, divide por 100 el término medio de colleras que transitan tirando de carruajes cargados, contando por $^1/_5$ de estas las que tiran de carruajes ligeros ó de vacío, y toma esta circulacion en 24 horas. Se supone para este cálculo que el peon se ocupa tambien de partir la piedra que exija para conservacion el trozo que tiene á su cargo, la cual valúa en 170 metros cúbicos próximamente al año. Cuando la circulacion diaria no llega á 200 colleras, resulta algo escesivo el divisor 100 y en defecto cuando pasa de 600 (*). Los trozos deben ser iguales, escepto los que estén á cargo de los capataces, que deben tener solo la mitad ó dos terceras partes del asignado al peon caminero, en razon al tiempo que aquellos emplean en la vigilancia de la seccion que esté á su cuidado.

Gasparin determina la longitud referida por la fórmula

$$x = \frac{300}{\frac{300}{l} + n\,(0{,}92\,u + 41{,}67)}$$

suponiendo que ejecuta el peon todos los trabajos de conservacion.

En esta espresion, x es la longitud del trozo en kilómetros; u el término medio del volúmen de materiales correspondiente al desgaste de un kilómetro; n la mano de obra total por metro cúbico de material gastado, compuesta de todas las operaciones desde traerle hasta quedar empleado. La mano de obra en trabajos accesorios independientes de la circulacion, como espaleo de nieves, reparaciones de cunetas en las pendientes y otros que dependen del clima, trazado, etc., es variable. Sin embargo, en cada carretera puede calcularse aproximadamente la longitud que podria conservar

(*) El divisor 100 está tomado para el caso de leguas de 4000 metros: para las leguas españolas de 20,000 pies debe ser 70.

Digitized by Google

un peon ocupándose solo de estas obras independientes de la circulacion, y empleando los 300 dias de trabajo que se supone útiles en el año. Esta longitud es la *l* de la fórmula.

Para asignar estos valores se suponen carreteras generales de 7 metros próximamente de ancho.

Los métodos espuestos solo podrán dar una aproximacion de la longitud que debe asignarse á cada peon, pues esta será variable por diversas circunstancias, tales como la situacion de la carretera, es decir, que esté mas ó menos próxima á la poblacion, en laderas ó en llanos, la diferente calidad del material que hace se tarde mas ó menos en partirle, etc.; así es que una misma carretera seria necesario dividirla en trozos de distintas longitudes, segun las circunstancias en que se hallasen, ó bien aumentar el número de peones fijos, conservando las longitudes iguales. El sistema de hacer ejecutar todos los trabajos á los peones camineros, no es posible llevarle siempre á rigor, pues por muy en cuenta que se crean tener todas las circunstancias para dividir los trozos, no pueden preverse todas; por ejemplo, si hay lluvias continuadas, se deterioran mas las obras, y teniendo que remediar los daños con oportunidad, será necesario tomar algun auxiliar para emplear el material si es urgente hacerlo, ó para desenlodar ó desembrozar las cunetas, etc. Si estaba calculado que el peon debia machacar cierto número de cargos, por haberle tenido que ocupar en los trabajos urgentes, habrá disminuido este número, y siendo necesario emplear la misma ó mayor cantidad de material del calculado, habrá que auxiliar con otros peones para verificarlo. Así lo que parece mas conveniente es el distribuir la carretera en trozos iguales, que deben calcularse por los medios espuestos, ó por la observacion de uno ó dos años, de modo que puedan verificarse por los peones los trabajos ordinarios, y tomar auxiliares en los casos urgentes.

Cuando haya en una misma carretera variedad notable de posicion, clima, tránsito y demas circustancias que influyen en su conservacion, como sucede generalmente en las líneas de gran longitud que pasan por montañas y por valles, por parajes secos y

Digitized by Google

húmedos, etc., deben en estos casos subdividirse mas los trozos en los puntos en que sea necesario.

Se ha visto ya la opinion de Berthault relativamente á las tareas; en las carreteras de España se puso en práctica este método cuando se organizó definitivamente el servicio de peones camineros, dando á cada uno una libreta, en la cual el sobrestante marca la tarea que han de ejecutar. Este método tiene inconvenientes, pues es difícil ó imposible calcular bien los trabajos que debe ejecutar el peon en una quincena, que es el período para que generalmente se marcan; así que lo que debe procurarse es tener peones bien instruidos y subordinados que estén vigilados con frecuencia, instruyéndoles en las operaciones que deben con oportunidad y preferencia verificar, examinar si lo han ejecutado con perfeccion y si han cumplido, lo que puede apreciarse prudentemente, dejando libertad al peon de poderse dedicar á algun trabajo oportuno ó perentorio en el intervalo de cada visita. Por ejemplo, si sobrevienen lluvias podrá ser conveniente que se ponga el peon á bachear inmediatamente; si estas son escesivas no podrá verificarlo y tendrá que desembrozar cunetas ó alcantarillas, etc. En ciertas épocas del año en que, por ejemplo, no puede dedicarse el peon sino á machacar piedra, es cuando podrán tener mejor aplicacion las tareas. Los datos prácticos que se han dado para las diversas clases de obra que ocurren en las carreteras, pueden servir para las apreciaciones indicadas.

Indicaremos ahora ligeramente la organizacion que tiene el servicio de conservacion en España y en otros paises.

Organizacion del servicio de conservacion en España.

El sistema seguido en España hasta hace algunos años, de reparar las carreteras á intervalos de tiempo mas ó menos considerables, exigia el empleo de cuadrillas ambulantes de peones temporeros que verificaban los trabajos necesarios, y las carreteras quedaban despues entregadas á la circulacion sin vigilancia alguna. Se establecieron despues guardas que vigilaban en cierta parte de carretera, hasta que definitivamente se arregló el servicio de conserva-

Digitized by Google

cion en 1841, estableciendo un peon por legua y sujetando este servicio á un reglamento en el cual se espresan sus deberes. En algunas carreteras se establecieron luego dos peones camineros por legua, y en la actualidad están dotadas las carreteras generales y algunas provinciales ó mistas de este número, y aun hay algun caso escepcional de ser cuatro el número de peones camineros por legua. Ademas de los trabajos de conservacion, están los peones camineros encargados de la vigilancia y policía de tránsito, para lo cual se aprobó en 14 de setiembre de 1842 la ordenanza para la policía y conservacion de carreteras. Cuando es necesario se auxilian los trabajos con peones temporeros.

En el reglamento citado antes relativo al servicio de peones, se establecieron tambien capataces, los cuales tienen la obligacion de vigilar un trozo de carretera de 4 á 5 leguas, verificando las visitas que en el mismo se espresan, sin perjuicio de tener á su cargo cierta longitud de carretera, si bien menor que la de los peones, para cuidar de ella directamente.

Los sobrestantes están encargados de secciones de carretera generalmente de 10 leguas, y son los jefes inmediatos de los capataces siguiendo despues en categoría, segun el nuevo arreglo del personal, los auxiliares y ayudantes, y por último los ingenieros.

Organizacion en Francia y Alemania.

La organizacion del servicio de conservacion en Francia es análoga á la de España, y lo mismo sucede en la mayor parte de Alemania y en Prusia; hay un reglamento especial para la construccion y reparacion de las carreteras.

Creemos curioso el dar estensamente noticia de esta parte del servicio de obras públicas en Inglaterra, por el interés que ofrece todo lo relativo á este pais.

En Inglaterra.

En Inglaterra hay para el cuidado de las carreteras, capataces que tienen á sus órdenes los auxiliares necesarios.

Hasta hace unos 30 años permanecieron los caminos de Inglaterra en un estado *espantoso*, segun lo espresan varios informes

Digitized by Google

dados á las Cámaras. En 1819 fué cuando se propuso el nombramiento de inspectores inteligentes, y se empezó á ensayar el sistema de Mac-Adam; en 1832 el Parlamento mandó observar ya un reglamento, y en 1840 una comision nombrada al efecto informó sobre los fatales resultados que producian la multitud de consejos parroquiales que intervenian en las carreteras, y el escesivo costo que tenia su conservacion por efecto del mal régimen. El esceso en el número de portazgos y en los derechos exigidos en ellos, era notable, del mismo modo que la ignorancia con que procedian en las operaciones de conservacion, tanto los consejeros como los inspectores; no siendo esto de estrañar pues á veces nombraban las parroquias personas completamente estrañas á los conocimientos necesarios, y que no tenian motivo alguno de saber. Tambien se quejaba la comision en este informe del escesivo número de inspectores, que llegaba hasta 20,000, y proponia como buen sistema el seguido en Escocia, en donde las carreteras estaban á cargo de una junta de propietarios que se reunian seis veces al año; cada condado estaba dividido en cierto número de distritos que varios propietarios tenian á su cargo, destinándose una parte de los productos de portazgos para amortizar los empréstitos contraidos para construir las carreteras. Proponia la comision, que se pusiesen todas las carreteras bajo la inspeccion de un poder central, estableciendo juntas en las cabezas de distrito y fijando sueldos mas decorosos á los inspectores, para atraer personas de capacidad.

Los esfuerzos del parlamento eran infructuosos para abolir los vicios de la administracion y multiplicidad de los consejos, á pesar de reconocerse por todas las personas competentes la conveniencia de regularizar este servicio.

En una Memoria publicada por Berthault Ducreux sobre el estado de las carreteras en Inglaterra, hacia notar tambien la falta absoluta de organizacion, la confusion estraordinaria de administracion, la falta de inteligencia de la mayor parte de los encargados y el espíritu hostil a los ingenieros en punto á carreteras; estando sin duda fundada la gran reputacion de los caminos de Inglaterra

UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO
Digitized by Google

en los de las grandes ciudades, que se conservaban con mucho gasto. Dice que eran escasos los peones camineros, prefiriéndose las cuadrillas.

Las juntas encargadas de carreteras existen aun en Lóndres mismo, en donde hay sobre 120. Algunas calles están á cargo de la corona y tienen un ingeniero; todas obran con independencia, contra la opinion de los ingenieros del Instituto de Lóndres, que desearian tambien hubiese mas unidad de accion.

Digitized by Google

CUARTA PARTE.

DEL CILINDRO COMPRESOR Y DE SUS APLICACIONES.

PRIMERA SECCION.

Al tratar de la construccion de los firmes, solo se ha indicado la conveniencia de pasar el cilindro compresor para consolidarlos, pero sin describir el aparato ni las operaciones para su empleo; esto es, pues, de lo que vamos á ocuparnos en esta parte, indicando tambien las aplicaciones y efectos del cilindrado.

Materiales de que se construye.

El rodillo ó cilindro compresor que sirve para consolidar los firmes de las carreteras, puede ser de piedra, de hierro, de madera, y de la combinacion de estos materiales. El cilindro gira alrededor de un eje horizontal para rodar sobre el firme, y consta de diversas partes accesorias, que se describirán despues; para su conduccion ó arrastre, es necesario emplear caballerías ó bueyes, en razon al peso que exige para producir el efecto á que se destina.

Origen de las aplicaciones.

La idea de emplear el cilindro es antigua; pues en 1786 la propuso en Francia Decessart; pero cuando se empezó á estender su aplicacion fué en 1829, en que el ingeniero Polonceau públicó una Memoria sobre las ventajas que presentaria el comprimir los firmes por medio del rodillo. Hizo tambien aplicaciones con uno de madera hueco de cerca de 2 metros de diámetro y que pesaba cargado,

Digitized by Google

de 3000 á 6000 kilógramos. Despues de esta época construyó y empleó un cilindro de fundicion.

Varios ingenieros empezaron á usar el cilindro en las carreteras, dando cuenta de los resultados obtenidos; así es que desde 1835 se insertaron en los *Anales de puentes y calzadas de Francia* diversas Memorias sobre este objeto. En 1835, Chamberet obtuvo pocos resultados del empleo de un rodillo de piedra de 0,8 metros de diámetro. En 36 y 37, Morandiere hizo ver las ventajas del empleo del cilindro sobre el apisonado, y las obtenidas por él con uno hueco de fundicion.

Uno de estos aparatos de madera con aros de hierro se empleó tambien por Coulaine y Bormans en 1840; pero hubo de sustituirse por otro mas perfeccionado. El inconveniente que encontraron estos ingenieros de cargarle por la parte interior, por los choques violentos que se producian al rodar, les condujo á colocar cajas esteriores, las cuales podian cargar hasta 15000 á 18000 kilógramos.

El diámetro de este cilindro era de 2 metros y de 1 próximamente de ancho. Se obtuvieron escelentes resultados con este cilindro, sin embargo, que los ingenieros espresados no creian que podia obtenerse la consolidacion completa del firme, hasta que el tránsito la efectuaba al cabo de tiempo.

Una de las cuestiones de mayor importancia relativas al uso del cilindro ha sido la suscitada entre varios ingenieros sobre las ventajas ó inconvenientes de adoptar pequeños ó grandes diámetros.

Esperimentos con cilindros de pequeño diámetro.

Schattenmann construyó en Francia en 1843 cilindros de fundicion de pequeño diámetro; era este de $1^{m}3$, y el ancho ó llanta próximamente el mismo. Los resultados que publicó relativos á sus esperimentos fueron brillantes, con solo pasarle por cada punto 10 veces entre vacío y cargado y con un peso de 1200 á 6000 kilógramos.

Segun este práctico, la presion en una zona de cilindro de un centímetro era de 24 á 47 kilógramos con la carga de 3000 á 6,000 kilógramos, y siendo la presion ejercida por las ruedas de los

Digitized by Google

carromatos mas pesados en el mismo ancho ó zona, de 100 á 700 kilógramos, deducia ser suficiente una presion 3 ó 4 veces menor que la que producia el cilindro, para consolidar una capa de firme de 17 á 20 centímetros de grueso, y decia haber obtenido en un firme de 44 centímetros de espesor una compresion que penetró hasta 22 centímetros de la superficie.

Pero tan ventajosos resultados indicados por Schattenmann, fueron impugnados por el ingeniero Leveillé, el cual, en una Memoria que publicó en los *Anales de puentes y calzadas* en 1846, da cuenta de los esperimentos verificados con cilindros del sistema propuesto por aquel, y aun ejecutando las operaciones bajo su direccion, dice que los resultados obtenidos estuvieron lejos de satisfacer á los encomiados relativamente al cilindro de pequeño diámetro, y pasado pocas veces por el firme; pues no 10 sino 44 veces fué preciso pasar el rodillo para obtener solamente una consolidacion regular y no la completa que asegura Schattenmann.

Las consecuencias que dedujo Leveillé de sus esperimentos fueron, que la diferencia obtenida con los cilindros de pequeño ó gran diámetro era corta; el pequeño, á carga igual, penetra mas ó ejerce accion sobre mas puntos; en el de gran diámetro se puede aumentar el peso para obtener resultados iguales, esperimentando el tiro de las caballerías la misma fatiga si se compensa la diferencia de diámetro por el peso.

Cilindros de gran diámetro.

Uno de los ingenieros que primero se mostró partidario de los cilindros de gran diámetro y peso, fué, segun antes indicamos, Polonceau, y en su Memoria de 1844 indica los ventajosos resultados que se obtienen por su medio.

La esperiencia, segun él, prueba, que para obtener un buen asiento del firme, es necesario que en cada centímetro cuadrado de superficie sobre que actua el cilindro, se verifique una presion de unos 4,8 kilógramos al principio de la operacion y 16 con carga completa, pudiendo llevarse esta presion hasta 19 kilógramos, que puede considerarse como su máximo en firmes de materiales duros

Digitized by Google

ó de cantos rodados. Estas presiones, si fuesen ejercidas por un peso colocado sobre el firme, serian insuficientes; pero por la fuerza viva ejercida durante el movimiento se producen los resultados convenientes.

Aunque conforme Polonceau en que los mismos resultados podrian obtenerse con cilindros de distintos diámetros, adopta sin embargo los de gran diámetro por favorecer así la accion del tiro de las caballerías; ademas no producen estos los desplazamientos de material que los de pequeño diámetro, al pasarlos por firmes poco unidos. El darles mas de 2 metros de diámetro haria muy difícil su manejo y costosa y difícil su construccion. Suponiendo el cilindro vacío para los primeros pases por el firme, y peso de 3000 kilógramos, la penetracion de la llanta en el firme de 2 centímetros y la superficie de contacto de 20 centímetros cuadrados, la presion seriá de 125 kilógramos por decímetro cuadrado al principio de la operacion. Cuando ya hay menos penetracion en el firme y la carga es doble, se puede suponer esta presion de 350 kilógramos por decímetro cuadrado. Cuando la carga sea de 8000 kilógramos, llegaria hasta 727 kilógramos por decímetro cuadrado, cuya presion es bastante para producir un asiento suficiente aun en los materiales mas duros.

Indica Polonceau los mejores medios de cargar los rodillos, y emplea cajones laterales suspendidos del bastidor, proponiendo tambien toneles que pudieran llenarse de agua á voluntad, colocados en la parte anterior ó en la posterior, ó lateralmente al cilindro. El colocar la carga dentro del cilindro, tendria la ventaja de cargar menos el eje, evitando rozamientos con los cojinetes; pero seria dificultosa su colocacion y tambien el descargar; ademas produce un movimiento en sentido contrario de la rotacion, y choques que aumentan el tiro y destruyen el cilindro. Si para evitar estos efectos se emplea en el interior del cilindro agua, habria el inconveniente de tener que evitar el que pudiera salirse, y para hacer variables las cargas sería necesario dividir el interior en compartimientos; el hacer estos perpendiculares al eje seria difícil y valdria mas hacerlos

Digitized by Google

longitudinales, que se llenasen por medio de tubos: este sistema no ha llegado á ponerse en práctica.

El cilindro empleado por Polonceau era de fundicion, hueco, con un bastidor de madera, en cuyos largueros se apoyaban los cojinetes en que giraba el eje; en los traveseros se aseguraba la lanza y anillos para enganchar.

Modificaciones introducidas en los cilindros compresores

Desde que se generalizó el uso del cilindro compresor, se trató de mejorar los medios de hacerle de fácil manejo: pues uno de los inconvenientes de estos aparatos es lo embarazoso de su empleo. Otro de sus inconvenientes consiste en la colocacion de la carga para que no ocupe gran espacio, y que su centro de gravedad esté lo mas bajo posible para que tenga la estabilidad necesaria. Ademas, la complicacion de las piezas de su armadura exige ciertos cuidados y esmero en su conservacion, y á veces no es fácil en el campo reparar las piezas; tambien es necesario no dejarle abandonado para evitar que quiten las tuercas ú otras piezas importantes. Su trasporte es tambien dificultoso para conducirle fuera de carreteras.

Por estas razones se ha tratado de introducir diferentes mejoras en los primitivos cilindros, las cuales vamos á indicar.

Cilindro de Haugeau.

Haugeau se propuso corregir el defecto de la elevacion de carga, y evitar la pérdida de tiempo en enganchar y desenganchar los tiros; pues era necesario trasladarlos á uno ú otro lado poniendo dos lanzas ó cadenas para los cambios de marcha. Dispuso la carga de modo que el centro de gravedad viniese á pasar próximamente por el eje del cilindro, y para cambiar de direccion sin desenganchar el tiro, lo verificaba por medio de un anillo de fundicion; este tenia una garganta y en ella encajaba un anillo de hierro forjado al que se une por un lado la lanza y por otro un gancho. Por esta disposicion se podia dar la vuelta al tiro sin desengancharle ni girar el cilindro, pues el anillo era el que giraba en la garganta de la rueda ó anillo horizontal de fundicion. Esto es ventajoso, porque si se da la vuelta al cilindro cuando se afirma una carretera, descom-

Digitized by Google

pone el piso; sin embargo la disposicion indicada tiene el inconveniente de ocupar mucho espacio y ser cara la construccion del cilindro.

Cilindro de Regnault.

Regnault y Bonillant introdujeron algunas mejoras en el cilindro compresor en 1847, con el objeto de conseguir su mas fácil trasporte. El cilindro que construyeron tenia 1,8 metros de diámetro y 1,3 de ancho ó llanta (*): su peso era sin armadura de 4000 kilógramos y 5500 con ella, pudiéndose aumentar una carga de 9000 kilógramos.

La mejora introducida consiste en la colocacion de cuatro ruedas de pequeño diámetro, las cuales cuando funciona están levantadas, y al contrario, se bajan y apoyan en el suelo cuando es necesario, levantándose el eje del cilindro para que por medio de dichas ruedas pueda conducirse cómodamente. Esta maniobra se verifica por medio de dos barras dentadas que están en los estremos del eje, y corren entre dos guias verticalmente; están aseguradas á los largueros y por medio de una manija se las puede hacer subir ó bajar. Tambien hay un freno unido al bastidor para poder modificar la velocidad en las bajadas.

Las figuras 129 y 130 representan la proyeccion vertical y horizontal de este cilindro, y en las cuales las mismas letras, indican los mismos objetos.

A. Carreton sobre el cual esta montado el cilindro.

B. Largueros del carreton.

C. Cilindro.

D. Eje del cilindro.

E. Cojinetes fijados á los largueros *B* por los cuales pasa el eje.

F. Barras dentadas ó crics fijadas por la parte inferior del eje, en las que engranan las ruedas dentadas *G*, las cuales se hacen girar por medio de las manijas *H*, cuando no funciona el cilindro.

JJ. Guias unidas fuertemente á los largueros.

(*) Su precio en Francia, 3000 á 3200 francos. Tambien los han construido despues de 2 metros de diámetro y uno de llanta.

Digitized by Google

K. Rueda catalina para fijar las ruedas dentadas *G*, y unirlas á su eje.

L. Barra del freno movida por un tornillo de presion *M*.

NN. Cajas para la carga.

O. Compuertas para vaciar las cajas.

Las innovaciones indicadas nos parecen buenas; sin embargo que subsiste el inconveniente de que la carga adicional queda muy elevada sobre el eje del cilindro; tambien es un inconveniente el estar situada la carga en las partes posterior y anterior, pues cabecea con facilidad el aparato, perjudicando á los animales que tiran del cilindro; el colocarla á los costados ofrece sin embargo la dificultad de cargar los estremos del eje de rotacion dificultando el giro.

Estas son las principales mejoras que tenemos noticia se hayan introducido en la construccion de los cilindros; vamos ahora á indicar alguna de las aplicaciones de estos en las carreteras de España, y despues detallaremos las distintas operaciones que exige su empleo y sus aplicaciones.

Empleo del cilindro en España.

El empleo del cilindro compresor se ha generalizado mucho en Francia, Alemania é Irlanda. En España tambien se emplea hace algunos años, y aun se ha tratado por la direccion de obras públicas de dotar á cada distrito de algunos para el servicio de las carreteras; sin embargo salen caros en la mayor parte de las provincias por la escasez de fábricas de fundicion y lo subido de los trasportes, pudiendo citar como ejemplo uno construido en Vizcaya, cuyo costo fué de 9000 reales y su trasporte á Madrid ascendió á 3500 reales.

En varias carreteras de España se han empleado con éxito. El ingeniero don Felix Uhagon en una Memoria inserta en el *Boletin de Fomento* de 1848, hace ver los ventajosos resultados que obtuvo con un cilindro de fundicion; su peso era de vacío 3400 kilógramos próximamente y su carga adicional de 3000; el diámetro y llanta tenia 1,25 metros. El cilindrado se verificó en algunas esperiencias en las dos capas del firme, el cual estaba compuesto de

Digitized by Google

cuarzo duro; echó pizarra tierna para facilitar la union y un recebo de arena. Se pasó 8 veces por cada punto de la primera capa y 10 por la segunda. Este trozo despues de sufrir las aguas del invierno estaba en el verano siguiente en escelente estado.

En otro trozo en que no se pudo verificar el cilindrado de primera capa, ni la mezcla de piedra blanda, los resultados no fueron tan satisfactorios.

Hemos empleado cilindros de fundicion cuyo diámetro era de 1,4 metros, habiendo obtenido con ellos buen resultado; su peso sin carga adicional era de 4500 kilógramos. El modo de ejecutar las operaciones en las carreteras en que los hemos empleado está incluido en el resúmen que damos á continuacion de las reglas que deben tenerse presentes.

SEGUNDA SECCION.

RESUMEN DE LAS REGLAS QUE DEBEN TENERSE PRESENTES PARA EL EMPLEO DEL CILINDRO COMPRESOR.

Clase y dimensiones del cilindro.

Se ha visto anteriormente que el diámetro mas conveniente para los cilindros no estaba bien determinado; sin embargo, para evitar el esceso de fuerza de tiro en los de pequeño diámetro y las demas desventajas que reunen, y al mismo tiempo la dificultad en el manejo que ocasionan los de gran diámetro, creemos que es un término medio proporcionado adoptar 1,5 á 1,8 metros (*).

La llanta muy ancha no asienta en todos los puntos del firme por la curvatura de este; bajo este aspecto seria conveniente un metro para conciliar esta circunstancia con la estabilidad del cilindro.

El empleo de los rodillos de hierro tiene ventajas por la posibilidad de variar la carga convenientemente, pudiendo cuando se descargan trasportarse mejor. Los cilindros de madera se estro-

(*) El tiro disminuye en razon directa de la raiz cuadrada del diámetro.

Digitized by Google

pean con facilidad, aun poniendo aros de hierro. Los rodillos de piedra de pequeño diámetro, que se acostumbran pasar por los paseos públicos, no producen efectos sensibles en los afirmados de carreteras, y solo pueden servir para igualar el piso cuando no haya circulacion de carruajes. Podrian hacerse de mayor diámetro para darles el peso conveniente; pero como es necesario que la carga sea variable habria que tenerlos de varios pesos.

Los rodillos de piedra tienen la ventaja de no exigir los cuidados que los de hierro, por la complicacion que hay en estos de cojinetes, tornillos, tuercas, etc.; así es que en paises abundantes de piedra y en que no haya facilidad de proporcionarse cilindros de hierro sin gran coste, deberán construirse algunos de piedra de distintos diámetros.

En cuanto á la colocacion de la carga en los cilindros, ya hemos indicado las dificultades que presentan, al tratar del cilindro perfeccionado de Regnault.

Carga del cilindro y número de pasos.

Todos están conformes en que la carga del cilindro debe ser variable; es decir, que debe aumentarse esta á medida que se va macizando el firme. Esto se concibe fácilmente, teniendo presente la mayor fuerza de tiro al principio de la operacion por la movilidad y desigualdades del firme. Si en los primeros pasos hubiese que ejercer esceso de tiro, las caballerías para hacer pie descompondrian el firme. Ademas, á medida que este se va macizando exige mayor presion, y por consiguiente mayor carga el cilindro.

Cuando el material sea tierno, la carga no deberá ser tan considerable como cuando el firme esté compuesto de materiales duros; así el decir en absoluto cuántas veces se ha de pasar el cilindro vacío y cargado para todos los casos, no es conveniente.

Aunque no es posible obtener por medio del cilindrado un firme que reuna las condiciones de solidez que otro ya macizado por la accion constante del tránsito, sin embargo, se consigue con esta operacion cierta union del material, de modo que al empezar el tránsito sobre un firme nuevo, no se descompone por los pies de

Digitized by Google

las caballerías ó las ruedas de los carruajes y conserva mejor su perfil.

Para graduar la carga, se pasa primero el cilindro vacío cierto número de veces; el límite del cual no se debe exceder para la economía de la operacion, es difícil establecerle. El pasarle gran número de veces parece seria lo mas conveniente; el cilindrar menos de lo necesario no produciria el efecto deseado; con el objeto pues de que se cumplan las condiciones precisas lo mejor posible, de modo que no se prolongue demasiado la operacion, produciendo así gastos considerables, parece que debe verificarse hasta que el firme quede en disposicion de que los carruajes no causen impresiones en él (*).

Generalmente hay que pasar el cilindro vacío tres ó cuatro veces aumentando la carga progresivamente. Una de las señales que indican haberse obtenido la consolidacion suficiente y que sirve de guia para terminar la operacion, es cuando cesan las ondulaciones causadas en el firme por el paso del cilindro antes de echar el recebo.

Cuando se pasa el cilindro las primeras veces, resultan asientos y desigualdades en la piedra, los cuales es necesario arreglar y macizar antes de pasarle cargado, y lo mismo cuando se pasa cargado antes de echar el recebo.

Con el objeto de evitar la pérdida de tiempo que resultaria en la carga y descarga, si se pasase el cilindro en trozos cortos, conviene adoptar longitudes en las cuales se verifiquen los pasos de vacío en un dia entero próximamente, y lo mismo con las diferentes cargas, lo cual se deduce por esperimentos preliminares.

Para el tiro pueden emplearse bueyes ó caballerías; los primeros son de gran utilidad en muchos casos por la fuerza y sufrimiento, y porque no se necesita velocidad en la marcha.

El cilindrar las diversas capas del firme, ofrece grandes dificul-

(*) El número de pasos depende principalmente de la naturaleza de los materiales y espesor del firme, y tambien de la naturaleza del suelo ó capa, y de la humedad ó sequedad del firme.

Digitized by Google

tades para el tiro como no se empleen materias de agregacion con la piedra.

Recebado.

El recebo que se emplee ha de tener las circunstancias que se dieron á conocer al tratar de la construccion del firme. Debe echarse despues que la piedra ha unido ó hecho clavo suficientemente; es decir, cuando cesan las ondulaciones; de otro modo se mezclaria con la piedra y seria difícil obtener un buen firme. El recebo debe echarse poco á poco pasando sucesivamente el cilindro hasta que resulte una superficie lisa.

Despues de macizado el firme por el paso del cilindro, hay que poner una capa de recebo de unos 2 centímetros de grueso, para que no ejerzan una accion tan directa sobre él los carruajes y caballerías antes que concluya de consolidarse por el tránsito.

Estaciones convenientes para cilindrar.

Las estaciones mas convenientes para cilindrar un firme son el otoño y la primavera, para que en el verano ó en el invierno pueda ya estar consolidado; en el primer caso, porque estando movediza la piedra, y descomponiéndose en el verano, no es la estacion oportuna para remediar los desperfectos; en el segundo caso, porque el invierno es la estacion en que ejerce mayor accion el tránsito, y por consiguiente conviene que esté consolidado lo mejor posible el firme para dicha estacion.

Si hay necesidad de pasar el cilindro en tiempo seco, debe regarse, lo cual produce un esceso de gasto ó no es fácil ó posible verificarlo á veces, pero como sin la humedad conveniente se produce poco ó ningun efecto, es preciso siempre aprovechar las lluvias para verificar la operacion.

Cuando el recebo está mojado se adhiere y apegota en la llanta del cilindro y es necesario despegarle: esta circunstancia es perjudicial, pues se arrancan pedazos de firme que salen envueltos en el recebo; por esto conviene que el riego se verifique antes de echar el recebo ó que se aproveche despues de las lluvias para echarle y pasar el cilindro cuando no llueva ya.

Digitized by Google

La cantidad de recebo que conviene emplear viene á ser de 0,06 metros cúbicos por metro cuadrado de firme.

Servicio del cilindro y anotaciones que deben tomarse

Para el servicio del cilindro se necesita ademas del mayoral para el ganado, el encargado de dirigir la operacion. Conviene que este sea uno mismo, si no para toda la carretera, al menos para grandes trozos, cuando sea gran longitud la que haya de cilindrarse; esto exige que sea un capataz ó sobrestante; tambien se necesitan algunos operarios para que sigan al cilindro y remedien los desperfectos á medida que se formen, para lo cual debe tenerse la piedra necesaria en la márgen del camino. El cilindrado debe verificarse de los costados al centro para que se descomponga menos el perfil.

El encargado de la operacion debe estar instruido de todas las principales operaciones que debe ejecutar, y aun llevarlas escritas; debe tambien llevar un registro en el que anote el número de pasos del cilindro, vacío, á media carga y con esta completa; el peso del cilindro y de las cargas; el tiempo empleado; la cantidad de recebo empleada y su calidad y todas las observaciones que crea convenientes. Tambien será conveniente el verificar catas antes y despues de la operacion, para ver el asiento que hace el firme.

El costo de las operaciones depende de lo que se pague en el pais por las yuntas ó caballerías, y los jornales de operarios. Generalmente se puede cilindrar en 10 horas de trabajo unos 17 kilómetros, suponiendo un solo paso del cilindro, y se necesita con carga completa 4 ó 5 yuntas de bueyes. Este dato servirá para calcular el costo.

Digitized by Google

TERCERA SECCION.

APLICACIONES DEL CILINDRO COMPRESOR.

Efectos del cilindrado: su influencia en los gastos de conservacion de firmes ordinarios.

El cilindro compresor tiene principalmente aplicacion para consolidar los firmes recien construidos. Al verificar un recargo sobre un firme antiguo para reponer su desgaste, se está en un caso análogo al de los firmes nuevos, y por consiguiente tendrá tambien buena aplicacion el cilindro.

Ademas de los efectos que evidentemente se obtienen para la mejor viabilidad por medio de la operacion del cilindrado, han querido demostrar algunos ingenieros que se obtienen tambien notables ventajas económicas, pues disminuyen los gastos de conservacion, cilindrando una carretera cuando se construye, hasta dos terceras ó tres cuartas partes del gasto que es necesario en el caso de que no se hubiese verificado esta operacion.

Para averiguar esto el ingeniero Fournier hizo varias esperiencias sobre firmes cilindrados, fijando perfiles transversales despues de hecho el asiento, y que rectificados al cabo de un año, le dieron el desgaste sobre un fondo ó base dura de un firme antiguo en que empleó recargos: el desgaste era mayor á medida que el espesor del recargo era menor, pues el rozamiento y la presion ejercian mas influencia en este caso.

El desgaste que se verificó hizo ver, segun este ingeniero, de un modo positivo, que el cilindrado no disminuye notablemente los gastos de primera conservacion; así una carretera cilindrada se desgasta mas uniformemente, pero con tanta rapidez como sin cilindrar; por lo que es nula la economía de materiales, y la de mano de obra es solo debida á la diferencia de cuidado que exige y que no será sino una pequeña porcion del gasto necesario para cilindrar.

Hace mencion Fournier de las indicaciones de Dumas, el cual dice que con su sistema de firmes perfectamente unidos, se dismi-

Digitized by Google

nuia el gasto de material, pues podia suponerse que las tres cuartas partes del material que se destruye en un firme lo es por aplastamiento, y el resto por el rozamiento; de suerte que, segun esto, una carretera muy lisa debe desgastarse tres veces menos que otra con baches, y esto, dice Fournier, está en completo desacuerdo con sus esperiencias.

El ingeniero Jordan al examinar la opinion anterior dice que se necesitaban esperiencias mas positivas para concluir que el desgaste no era inferior en firmes cilindrados que sin cilindrar, y que hasta que estas no lo indicasen, habia que admitir que en un firme comprimido por el cilindro resultaba mas enlace en los materiales y menos desperdicio de ellos, resistiendo mejor al rozamiento de las llantas, pues ofrece una superficie mas dura y unida.

El ingeniero Graeff en una Memoria publicada en los *Anales de puentes y calzadas* de 1851, se ocupa de examinar las ventajas que pueden obtenerse del sistema de conservacion misto, que se ha indicado en el lugar correspondiente, por medio del empleo del cilindro, deduciendo consecuencias ventajosas de su empleo, particularmente en las carreteras muy frecuentadas. Ademas de obtenerse por su medio firmes unidos y de buen perfil, se desgastan segun este ingeniero paralelamente y de un modo *casi matemático*.

Los firmes cilindrados tienen tambien la ventaja de que producen menos detritus que los que no se cilindran. El tránsito es por ellos mas cómodo y se economiza material y mano de obra de conservacion. Los esperimentos verificados por este ingeniero le dieron á conocer, que cuando se emplea el cilindro sobre capas de material muy delgadas, era difícil y mas costosa la operacion, y adopta como grueso mínimo conveniente para el empleo del cilindro de 8 á 10 centímetros.

Gasparin en su Memoria citada al tratar de los gastos de conservacion, se hace cargo de la opinion de Graeff y deduce, que si bien la operacion del cilindrado es conveniente para colocar gradualmente los materiales de un firme en la mejor posicion de equilibrio en que deben quedar, y disminuye la fatiga de los animales

Digitized by Google

de tiro, no es económico en mano de obra y como sucede á toda mejora, sigue la ley indicada por Dupuit de que á *una mejora de viabilidad corresponde un aumento de gasto*; la verdadera economía consiste en el material, pues la mano de obra aumenta. Puede decirse que el cilindrado es un gasto supletorio para procurar mayor facilidad á la circulacion y economizar la fuerza que tienen que emplear los animales de tiro para consolidar el firme cuando este no se cilindra, y no evita el tener que componer roderas en un firme nuevo en que se emplee; sin embargo, no debe vacilarse en su empleo por los beneficios que, segun se ha dicho, reporta el tránsito. Analiza Gasparin cuándo deberá emplearse el cilindro relativamente á las consignaciones de que pueda disponerse, estableciendo fórmulas que ligan las diversas circunstancias en que pueda encontrarse una carretera con relacion á dichas consignaciones.

La verdadera economía que puede obtenerse en la conservacion de una carretera, si se emplea el cilindro compresor al construirla ó repararla, comparativamente con otra en que no se verifique, es difícil de averiguar. Desde luego es necesario no confundir el desgaste producido por las ruedas de los carruajes por solo el rozamiento de rodadura, con la destruccion de material producida por los choques y aplastamiento, cuando el firme está desigual y las piedras no están bien embutidas ó unidas entre sí: así es que bajo este punto de vista, indudablemente se ve que se destruirá menos el firme cuando esté cilindrado que cuando no lo esté, pues presentará una superficie mas lisa. Una carretera cilindrada recien construida se descompone menos por los pies de las caballerías y por los carruajes, que cuando no lo está; de suerte que aunque sea necesario cuidar de su conservacion al principio, no exigirá tanto, y se gastará menos material en arreglar los desperfectos que resulten, pues son menos estos; tambien se tendrá la ventaja de que el recebo no se introducirá en el firme, ni se mezclará con la piedra, como sucede en un firme sin cilindrar, lo cual trae malas consecuencias, pues no es fácil obtener tan buena consolidacion despues, si hay esceso de detritus. Finalmente no es la economía inmediata

Digitized by Google

en los gastos de conservacion á lo que principalmente debe atender. se, sino al objeto á que están destinados las carreteras de poderse obtener fácil y cómoda circulacion por ellas, por lo cual debe en nuestro concepto adoptarse siempre que sea posible.

Empleo del cilindro en la conservacion de empedrados

El empleo del cilindro compresor ha tenido aplicacion tambien para la conservacion de empedrados. El principal objeto en este caso ha sido conseguir espeler ó hacer brotar á la superficie del firme por las juntas del empedrado, el agua contenida en el cimiento de arena. Una de las aplicaciones verificadas con este objeto se esplica en los *Anales de puentes y calzadas de* 1852: el cilindro que se empleó tenia un peso de 8000 kilógramos; antes de pasarle se tuvo cuidado de barrer. El agua salia por las juntas y se hacia correr á las cunetas barriendo convenientemente, para lo cual seguia al cilindro un peon. Por dia puede cilindrarse un kilómetro de empedrado de 4 metros de ancho, verificando 35 pasos sobre los mismos puntos, pero esto es variable, pues depende del estado del empedrado y cantidad de agua que contiene. Cuando la arena de la base contiene agua, resulta que el empedrado tiene mucha movilidad y por esto es de buena aplicacion el método anterior.

Tambien puede tener un empleo ventajoso el cilindro para la reparacion de empedrados; efectivamente, si estas se verifican en verano, como se acostumbra, son difíciles de arrancar las piezas que se han de sustituir; en el tiempo de deshielos al contrario, pues tienen gran movilidad los empedrados, por aflojarse las juntas y la base y se arrancan con facilidad, pero no habrá dificultad en verificar las reparaciones, pasando el cilindro despues para que quede bien sólido é igual el firme.

Digitized by Google

QUINTA PARTE.

PRIMERA SECCION.

OBSERVACIONES SOBRE LA INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE EJECUCION DE LAS ORRAS EN SU PERFECCION, Y ORGANIZACION DE TRABAJOS.

Sistemas de ejecucion

No es nuestro ánimo el analizar las cuestiones relativas á los sistemas económicos de ejecutar las obras públicas en sus relaciones con el desarrollo de la riqueza, ó por la mayor ó menor facilidad que estos medios proporcionen para promoverla, etc., solo tenemos por objeto el hacer algunas observaciones sobre su influencia en la perfeccion de las obras y las complicaciones que puede resultar en su ejecucion en los diferentes casos.

Tres son los sistemas principales de ejecutar las obras públicas; el de empresas, el de contratas y por administracion; en este último caso pueden ser ejecutadas por trabajadores libres ó por confinados.

En las obras por empresa, la administracion contrata con particulares la ejecucion de las obras, cediéndoles en pago los productos y rendimientos de las mismas ó estipulando concesiones en compensacion de la industria de los empresarios ó del capital que adelantan.

Este sistema ofrece inconvenientes relativamente á la buena construccion de las obras; sucede con frecuencia que la empresa cede la ejecucion de aquellas con primas considerables y los arren-

Digitized by Google

datarios quieren sacar el importe de sus arriendos y la ganancia mayor posible á costa de la perfeccion de la obra, y aun sucede que la subarriendan á su vez, siendo mayores por consiguiente los inconvenientes que resultan. No es á veces suficiente la mayor vigilancia de inspeccion para evitar todos los fraudes á que dan lugar estos casos, y si bien es cierto que no es tan grave el mal para el Estado, si la empresa tiene la responsabilidad de las obras; sin embargo, resultan perjuicios á la circulacion por el entorpecimiento del tránsito durante las reparaciones.

Las empresas deben ser aceptadas cuando la importancia y vasta estension de las obras exigen considerables sumas que la administraccion no se halle en estado de aprontar, pero que puede suplir ventajosamente por medio de concesiones.

En las obras por *contrata*, el gobierno abona á los contratistas el importe de las que ejecutan en plazos estipulados y bajo condiciones determinadas. Por este medio tambien recibe el Estado un adelanto en obras, y resulta menos complicada la contabilidad que en el caso de verificarse por administracion.

Del mismo modo que las obras por empresa, está sujeto este sistema á los inconvenientes de los subarriendos, que á pesar de estar prohibidos, sin embargo no es fácil á veces el evitar. Hay tambien la circunstancia de que algunas veces los contratistas hacen bajas considerables en la subasta, y en este caso quieren economizar en la construccion de las obras las cantidades suficientes para obtener ganancias ó al menos no perder.

Para vigilar la buena ejecucion de las obras en este caso, es necesario, cuando son en gran estension, establecer un numeroso personal y por consiguiente un aumento de gasto. En este sistema resultan, si las obras no tienen la solidez necesaria, mas perjuicios que en el de verificarse por empresa, en razon á que no siendo la garantía de tiempo sino de meses ó de uno ó dos años generalmente, queda al Estado el gravámen de las reparaciones á que den lugar las obras, en el caso de no tener la solidez dicha.

Sin embargo de establecerse numerosas condiciones para la eje-

Digitized by Google

cucion de las obras por contrata, no pueden á veces preverse todas las circunstancias que ocurren ó algunas han de quedar por precision vagas, y resultan de aquí cuestiones entre el encargado de la inspeccion de las obras y el contratista; este se cree perjudicado en algunos casos y reclama como *aumentos de obra ó mejoras* las que no suelen existir ó que no deben tomarse como tales.

En estos casos no tiene la verdadera direccion de las obras el ingeniero, porque la direccion completa no es posible, cuando en ellas los operarios son elegidos y pagados por el contratista ó empresario, si bien el ingeniero puede despedirlos.

Las obras por *administracion* las ejecuta el gobierno por medio de sus delegados, haciendo los abonos en ellas á medida que se ejecutan, lo cual exige fondos inmediatamente disponibles si no han de sufrir entorpecimientos, que son tan perjudiciales en el curso de las obras cuando tienen lugar.

Las obras por *administracion*, no debe entenderse que son las verificadas esclusivamente á jornal, es decir, por operarios á los cuales se abonan sus haberes directamente, tanto para las obras de tierra, como para las de afirmados, de fábrica, etc. Esto no se verifica generalmente, pues de este modo se complicaria mucho la contabilidad de las obras y su direccion; así es que se dividen los trabajos en varias clases y se ejecutan, unos á jornal, otros por ajustes parciales ó totales, ó por *destajos* con cuadrillas ú operarios á los cuales se abonan las cantidades de obras que ejecutan, y en fin se emplean tambien las *contratas* parciales. Debe estudiarse el método que conviene seguir en cada clase de obras.

Todos estos medios son los que en último resultado emplean los contratistas en obras de consideracion, con la diferencia en este caso, que su interés está en el mejor partido que pueden sacar de estos ajustes, destajos, etc., relativamente á su precio aun sacrificando la buena construccion, y los delegados del gobierno tienen el deber, al mismo tiempo que de sacar el mejor partido económico posible, conciliar la buena ejecucion de las obras con sus precios.

Digitized by Google

Este sistema que puede llamarse misto es del que mejor partido puede sacarse relativamente á la perfeccion, y aun á la economía en las obras, contando con el celo y la probidad que siempre deben distinguir á los encargados de su direccion.

Qué obras conviene ejecutar á jornal, por ajustes, destajos, etc.

Espuesto lo que antecede, vamos á ocuparnos de examinar qué método de los indicados conviene adoptar para ejecutar todas las partes que constituyen las obras de carreteras, como son las esplanaciones, mano de obra de afirmado, suministro de materiales para el mismo, construccion de las obras de fábrica y acopio de los materiales que estas exijan; entrando en algunos detalles sobre sus ventajas é inconvenientes, indicando tambien las que resultan del empleo de confinados.

Todo trabajo en que no sea fácil que pueda haber fraude y que verificado á jornal complicaria la contabilidad de las obras, puede hacerse por contrata, bien sea esta privada ó por subasta ó pública licitacion; tal es, en las obras de carreteras, el suministro de materiales para el firme, mampostería, sillería y maderas; esta clase de trabajos se pueden inspeccionar fácilmente y admitir ó desechar los materiales despues de acopiados.

Hay que observar que muchas veces se obtendrian precios mas económicos en ajustes parciales ó totales que en la subasta pública; pues las combinaciones de los licitadores hacen ilusorias las ventajas que pudieran obtenerse en los precios.

Los materiales para las obras procedentes de fabricaciones como ladrillo, cal, ferretería, no pueden obtenerse en general de buena calidad por medio de licitaciones; las bajas que se hiciesen en las subastas, serian probablemente á costa de la calidad del material, dando lugar al suministrarlo á cuestiones desagradables para su recepcion, y muchas veces viniéndose á parar á rescisiones de contratas como único medio de evitarlas.

Esta clase de materiales deben buscarse en las mejores fábricas, ó fabricarlos espresamente de la calidad que se desee, cuando esto sea posible ó conveniente, haciendo con los dueños ajustes pruden-

Digitized by Google

tes. En las licitaciones para estos suministros, toman parte, las mas veces, personas que no pueden competir; y lo barato sale carísimo por la calidad del material, molestias y entorpecimientos que se ocasionan.

En las obras de tierra podrian indudablemente adoptarse las subastas si todo fuese desmontes, pues en este caso aun concluida la obra puede verse si está bien ejecutada; pero habiendo tambien terraplenes, no es conveniente este método, pues en estos puede haber fraude en su ejecucion; por lo que si ha de obtenerse la perfeccion debida en esta clase de obras, deben hacerse á jornal, ó para evitar la complicacion de la contabilidad, establecer pequeños destajos de media legua á lo mas, con precios de que pueda obtener una ganancia regular al destajista, escogiendo personas prácticas y honradas, y no permitir bajo pretesto alguno, que esté al frente del destajo otro que el mismo destajista; de este modo se podrá conseguir una perfeccion que será la que mas se aproxime á la de las obras hechas á jornal, y sin la complicacion administrativa de estas.

Detalles sobre los diferentes medios de ejecucion de cada clase de obras.

Los destajos pueden ejecutarlos trabajadores prácticos con sus cuadrillas; y en este caso suele ser comun á todos ellos la distribucion del valor del destajo; de este modo pueden obtenerse mas ventajas en los precios, pero tiene el inconveniente, de que careciendo de recursos, si no se les paga con puntualidad, les es difícil continuar la obra.

La clase de personas que se dedican á la ejecucion inmediata de las obras públicas, que son útiles cuando á su práctica reunen honradez, podria en nuestro concepto moralizarse convenientemente no admitiendo en una obra pública aquellos que hubiesen observado mala conducta en otra.

Para conseguir este objeto, cada ingeniero podria pasar las notas relativas al comportamiento de aquellos que hubiesen cumplido mal en las obras, y la direccion de Obras públicas circularlas á los distritos; esto en nuestro concepto disminuiria los conflictos que

Digitized by Google

con frecuencia tienen lugar por admitirse en las obras, sin saberlo, sujetos de mala conducta.

En los ajustes ó contratas de las obras de tierra, ocurren algunas dificultades que es necesario prever. Cuando el terreno es muy desigual y en particular cuando se hacen los desmontes á media ladera, es muy dificultoso, ó por mejor decir, no es posible hacer la medicion exacta de la obra despues de ejecutada, aunque se dejen señales ó damas al intento. Resulta, que si el ajuste se ha hecho por unidades cúbicas y hay alguna duda despues, da lugar á cuestiones el no poder rectificar la medicion; por esto es mejor verificar las contratas ó ajustes de esta clase de obras por unidades lineales, es decir, á tanto metro ó kilómetro de carretera ya esplanada, calculando en el proyecto y rectificando la medicion al verificarse la obra, antes de proceder á hacer los ajustes, y de este modo no hay perjuicio ni para la administracion ni para el contratista. Este método puede tambien tener aplicacion cuando se construye el camino en esplanacion sobre el terreno natural mismo, ó no esceden los desmontes y terraplenes próximamente de medio metro de altura máxima, incluyendo la caja y cunetas en el ajuste.

El verificar los ajustes por unidades cúbicas no tiene tanto inconveniente cuando se construyen terraplenes, porque son mas fáciles de medir despues de efectuados. Tanto en estos, como en el caso de los desmontes cuando se pagan por volúmen, se necesita tener cuidado de que los destajistas ó contratistas no alteren las rasantes y taludes con el objeto de que resulte mas obra; por el contrario, en el caso de ser los ajustes por unidades lineales de carreteras, pueden alterarlas con el objeto de que resulte menos, haciendo al efecto los taludes menos inclinados y elevando las rasantes. Para evitar estos fraudes, se rectifican cuando se ejecutan las obras y se examina tambien la inclinacion de los taludes en tiempo oportuno.

Los ajustes de obras de tierra pueden hacerse dándose las herramientas, ó siendo estas de cuenta del contratista. El primer caso complica la contabilidad y direccion de las obras, por tenerse que

Digitized by Google

llevar el alta y baja de aquellas, pero en general suele ser necesario el suministrarlas, y en este caso no debe abonarse el último plazo del ajuste hasta haberse verificado su entrega. Cuando se hacen las obras de movimiento de tierras por destajos, un sobrestante puede vijilar varios de ellos, aunque no dede esceder la estension de dos leguas; en este caso no es el objeto del sobrestante el hacer que no se pierda tiempo, pues en el interés del destajista está el cuidar de ello, sino el dar las instrucciones ó vijilar la buena ejecucion de las obras.

Las cunetas y cajas se ajustan generalmente por unidades lineales.

Cuando se ejecutan las esplanaciones á jornal es necesario disponer la brigada que tenga á su cargo un sobrestante, de modo que pueda este ejercer una vijilancia contínua sobre ella, así es que no esceden generalmente de 200 operarios colocados en puntos próximos. Las cuadrillas en que se dividen estas brigadas tampoco deben ser de muchos operarios, con el objeto de que los capataces, á cuyo cargo están, vigilen bien los trabajos y cuiden de que no pierdan tiempo, pues si fueran en gran número no seria fácil el conocer y vigilar á cada individuo particularmente.

En esta clase de obras, como en todas las que se ejecutan á jornal, el sobrestante forma las listas de los haberes devengados por la brigada con arreglo á las listas parciales de los capataces, é interviniendo á estos, es decir, llevando cuenta separada de los operarios que trabajan diariamente, para lo cual debe asistir á las horas de pasar lista y tomar los apuntes convenientes al visitar las obras. La lista debe pasarse á las horas de entrada, á las de salida y en las de merienda y almuerzo.

Ademas de la vijilancia é intervencion de los sobrantes á los capataces y aun de estos para los primeros, pues deben presenciar los pagos, hay la de los ayudantes y del director de las obras, que debe ser frecuente y sin tiempo determinado, tomando tambien notas para la debida inspeccion y vigilancia. Los pagos deben hacerse en mano propia á los operarios con presencia, si es posible, del director

Digitized by Google

de las obras ó persona delegada por él: el entregar el importe de jornales á personas que aparecen como interesados de los que trabajaron, ó á los capataces cuando no aparecen los individuos mismos que figuran en las listas, si no está bien justificado, puede dar motivo á fraudes que deben evitarse.

El afirmado de las carreteras consta de dos partes: una el acopio del material y otra la mano de obra para preparar la piedra ó machacarla y colocarla en caja. El acopio de material debe hacerse en general por ajustes ó contratas hasta ponerle al pie de obra, pues el verificarlo de otro modo complicaria mucho la direccion y contabilidad, y no hay inconveniente, porque se ve la calidad del material sin que pueda haber fraude.

El machacar la piedra puede hacerse á jornal, por ajustes ó destajos pequeños y por contratas en grande. El primer método tiene la ventaja de que puede exigirse y obtenerse mas perfeccion, pero suele salir caro, pues no puede hacerse que se verifique el trabajo tan rápidamente como cuando se buscan operarios por ajuste. En este último caso, aunque puede adelantarse mas, se necesita mucha vigilancia para que los operarios no tiren alguna cantidad de piedras gruesas para no tenerlas que machacar; y al recibir los cargos, si se miden todos, lo cual es embarazoso, atribuyen las faltas como pertenecientes á la merma natural que tiene la piedra machacada, la menor cantidad de huecos que resultan y desperdicio de la piedra que salta. Así, el recibir los acopios de piedra ya machacada tiene ventajas bajo los puntos de vista enunciados, y para esto se calculará el precio atendiendo á la disminucion de volúmen que resulta, de lo cual se ha tratado en la construccion; sin embargo, este método tiene el inconveniente de dar lugar á cuestiones cuando no viene la piedra con las dimensiones convenientes, y estos efectos son mas de temer si se verifica por ajustes ó contratas en gran cantidad.

Cuando la piedra se machaca dentro de caja, no debe permitirse el arreglarla antes de examinar cada capa de por sí. En este caso se paga por unidades lineales de firme; tambien se ajusta de este modo la colocacion y arreglo de la piedra cuando se machaca fuera

Digitized by Google

del firme. El hacer ajustes ó contratas del afirmado incluyendo todas las operaciones ó sea por unidades lineales de firme concluido, está sujeto á graves inconvenientes, porque es difícil el vigilar bien la buena ejecucion de todas las operaciones.

La construccion ó reparacion de los empedrados puede hacerse tambien por contrata, por ajustes ó á jornal. El verificarlo por contrata en grandes estensiones de empedrado, tiene los inconvenientes indicados en las demas obras y los contratistas tratan de hacer la mayor cantidad en el menor tiempo posible, con perjuicio de la buena ejecucion; así es que no se dispone la base del modo conveniente, el asiento de las piedras se hace mal, del mismo modo que el relleno de juntas. El hacerlo por ajustes con empedradores que lo ejecuten con sus cuadrillas, aunque puede tener parte de los inconvenientes anteriores, no es tan arriesgado como verificarlo por grandes contratas. El medio mejor para conciliar la simplificacion de la contabilidad con la perfeccion de los trabajos, es el hacer por contratas ó ajustes el suministro de material, y verificar á jornal ó por pequeños ajustes la mano de obra.

Las reparaciones de los empedrados pueden hacerse tambien por contratas, teniendo la obligacion el contratista de tener en buen estado el firme por un tanto anual; en este caso el contratista tiene interés en verificar las reparaciones lo mas tarde posible y lentamente. Si la contrata se hace pagando por medida superficial, tiene interés en levantar la mayor estension posible de empedrado, y lo mismo pagando por *piezas* en el adoquinado; pues en este caso, ademas de la mayor ganancia por colocar muchas, hay la circunstancia de que siendo las primeras mas difíciles de sacar, levantadas estas, le tiene cuenta reponer las contíguas. Para las reparaciones ó conservacion de empedrado, es lo mejor tener cuadrillas de empedradores con la vigilancia debida.

Puede ser útil el consultar un artículo del ingeniero L'Eveille, inserto en los *Anales de puentes y calzadas de* 1841, en el cual se detallan los medios de ejecucion de los empedrados y las condiciones que deben establecerse cuando se contraten.

Digitized by Google

Las obras de fábrica, particularmente cuando son de consideracion por su magnitud, su número ó dificultad de su ejecucion, no deben contratarse en su totalidad, pues da lugar á muchos fraudes y puede comprometerse su seguridad y solidez. El hacerlas á jornal seria el medio mas á propósito para que tuvieran la perfeccion debida; pero puede adoptarse el verificar ajustes parciales con maestros acreditados, solo del número de obras de que puedan estar estos al frente. Los materiales pueden ser objeto de ajustes separados con las mejores fábricas, caleras, etc. La mano de obra de las fundaciones de puentes no debe nunca contratarse si se quiere ejecutar debidamente; ademas ofrecen dificultades estos ajustes en razon á las eventualidades á que están sujetas las obras de esta especie.

Aplicacion de los confinados á las obras.

Hemos indicado al principio de esta parte, que las obras por administracion se ejecutan por trabajadores libres ó por confinados; vamos á esponer algunas consideraciones sobre las ventajas é inconvenientes de este último medio de ejecucion.

Los confinados que trabajan en las obras públicas se dividen en brigadas, con la dotacion correspondiente de plana mayor, que se compone en general, de un comandante, ayudantes, furriel y un capataz por cada brigada, el cual pertenece tambien á gente libre, y ademas hay la dotacion necesaria de cabos de vara, que viene á ser uno por cada diez confinados. Cuando se trabaja en despoblado hay capellan y médico para servicio esclusivo del presidio.

Segun la parte adicional á la ordenanza de presidios de 2 de marzo de 1843, la plana mayor y los confinados disfrutan las siguientes gratificaciones del fondo de las obras á que están destinados: 12 reales diarios el comandante; 9 reales el primer ayudante; 6 el segundo, 4 el furriel; 2 reales cada capataz; 42 maravedises los cabos de vara; 40 maravedises los confinados obreros ó de oficio y 24 los ordinarios; estas tres últimas clases solo disfrutan la gratificacion indicada los dias que se trabaja. La plana mayor cobra tambien sus sueldos de los fondos de las obras, cuando está el

Digitized by Google

presidio destinado esclusivamente á ellas, y de estos fondos se abona tambien la sopa matutina, acuartelamiento, trasporte de efectos y conduccion de confinados enfermos.

La aplicacion de confinados á las obras públicas tiene ventajas económicas en algunos casos y es desventajosa en otros, segun vamos á indicar.

Los presidios pueden depender directamente de las obras, es decir, estar á las inmediatas órdenes y disposicion del director de aquellas, ó ser suministrados por el correccional de alguna provincia y depender de los jefes de este. En el primer caso es cuando mejor partido se saca de él; en el segundo es menos ventajoso su empleo, tanto en la parte económica, como por los embarazos que suele crear esta dependencia y cuestiones á que dan lugar entre los jefes del correccional y el director de los trabajos; unas veces sobre la hora de salida y de vuelta á los trabajos; otras por las exigencias relativas á pluses, á los acuartelamientos, etc., de suerte que en general puede decirse que no deben aplicarse bajo este sistema los presidios.

Cualquiera que sea la organizacion del presidio, cuando quiera aplicarse en trabajos que ocupen gran longitud, no es fácil ejercer una vigilancia regular sobre los confinados, sin aumentar demasiado la escolta, lo cual trae un aumento de gasto. La lentitud de la marcha de los confinados y la circunstancia de tener que retirarse del trabajo á una hora tal, que puedan entrar de dia en las casernas y tambien salir de ellas cuando es ya entrado el dia, hace tambien perder mucho tiempo, sobre todo en el caso indicado de estar esparcidos ó á gran distancia de los acuartelamientos.

Si los trabajos ocupan corta estension y se emplea poca gente por esta causa, los gastos de plana mayor se distribuyen entre pocos operarios y por consiguiente se aumenta el costo de la mano de obra.

Si para evitar la pérdida de tiempo en los trabajos á gran distancia de las casernas, se construyen provisionales en los puntos en donde se trabaja, la gran seguridad que exigen estas, hace que

Digitized by Google

sean costosas, y en las obras de caminos, en las cuales las de esplanacion puedan concluirse sucesivamente en corto tiempo, resultaria un gran esceso de gastos de esta movilidad y frecuente construccion ó habilitacion de edificios que hay que abandonar á poco tiempo, sin contar la complicacion que esto produce en la direccion de la obra.

En los dias de nieblas no pueden sacarse los confinados á los trabajos por la mayor esposicion que hay para su seguridad, y como hay ciertos gastos constantes, resulta un perjuicio en el costo.

Así, la mas ventajosa aplicacion de los confinados tendrá lugar cuando sean de la inmediata dependencia de las obras, y si estas son de larga duracion en uno ó mas puntos. Para ver la economía que puede resultar de la aplicacion en estos casos, puede leerse la Memoria del ingeniero D. Lucio del Valle, inserta en la *Revista de Obras Públicas*, n.° 1.° de 1853; el cual ha sabido sacar todo el partido posible de los confinados en la carretera de las Cabrillas. En el mismo caso se hallan las obras de la presa del canal de conduccion de aguas á Madrid, en la que los difíciles trabajos á que ha dado lugar se han ejecutado tambien por confinados con ventajas positivas.

Relativamente al caso que hemos indicado de no depender directamente el presidio de las obras, no podemos deducir tan buenos resultados, al menos del que hemos empleado en carreteras, pues salieron algunas obras tan caras como ejecutadas por trabajadores libres, á pesar de ejercer la vigilancia posible en los trabajos, pero faltaba la conveniente organizacion, que como ya indicamos al principio, no es posible en el caso de que se trata.

Las ventajas que pudieran obtenerse de los confinados desaparecerán y será al contrario anti-económico su empleo, si se exije el cumplimiento de la órden relativa al aumento de plus á los confinados fijando este en 2 rs. y con mucho mayor motivo la relativa á la gratificacion mandada abonar por real órden de 23 de febrero de 1853 á toda la fuerza de tropa destinada á la seguridad del presidio en los acantonamientos: puede verse sobre este par-

Digitized by Google

ticular el artículo inserto en la *Revista de obras públicas*, número 9 de 1853 del ingeniero D. Ramon del Pino, en el cual se demuestra la inconveniencia de esta disposicion.

SEGUNDA SECCION.

Documentos relativos á la organizacion de trabajos.

Haremos por último algunas indicaciones sobre los documentos relativos á la organizacion de trabajos, cuando se construye una carretera por administracion; algunos de los cuales se aplican tambien cuando se ejecuta por contrata.

No nos ocupamos de los estados y documentos cuya formacion se dispone oficialmente; presentamos solo los que hemos adoptado en algunas obras y que pueden variar ó modificarse en cada caso, segun juzgue conveniente el director de las obras.

Se ha dicho que las cuadrillas que trabajan á jornal están al inmediato cargo de los capataces; estos forman las listas de los haberes de sus cuadrillas, ademas de vigilar y dirigir las obras del trozo de que estén encargados; sin embargo suele haber un encargado especial de formar las listas ó *alistador* en cada brigada, si no se quiere distraer de las demas ocupaciones al sobrestante ó uniformar mejor aquellas que si las formasen los capataces, pues en algunos casos suelen no saber escribir ó estar poco enterados de operaciones aritméticas. Esta circunstancia no debe estrañarse, pues cuando las obras son de alguna estension, hay que valerse para capataces de personas que se procura principalmente sean prácticos, pero que no suelen reunir todas las circunstancias que seria de desear. El modelo núm. 1 (al fin de esta seccion), es el de las listas que se forman á la conclusion de cada dia, y que en el caso de hacerse por los capataces, las pasan estos al sobrestante. Con arreglo á ellas se forman despues las listas semanales, quincenales ó mensuales, núm. 2, que sirven de justificantes de las cuentas que se pasan á la Direccion de obras públicas.

El ingeniero ó ayudante encargados de las secciones, deben tener conocimiento diario de la fuerza que trabaja, y con este objeto

Digitized by Google

se forma por los sobrestantes el resúmen, que puede ser con arreglo á los modelos núms. 3 ó 4, y cuando trabajen confinados, con arreglo al núm. 5.

Tambien deben formarse por el director de las obras las instrucciones para cada clase de empleados en ellas: para los sobrestantes las relativas al trazado, perfiles ó acotaciones del trozo de esplanacion de que estén encargados, ó las relativas á la construccion de afirmado ú obras de fábrica, etc.; á los capataces, las relativas á los detalles de construccion del trozo de que estén encargados, arreglo de cuadrillas, carros y acémilas; á los recibidores de materiales, sobre la cantidad y calidad, colocacion etc., de los que han de recibir y modelos para la cuenta y razon; á los guardas de almacen, el modelo de la libreta de alta y baja diaria de herramientas, justificantes de las entregadas y estados periódicos de existencias. Estos no deben entregarlas si no está el pedido visado ó hecho por el sobrestante, ni hacerse cargo directamente de las que entreguen los operarios ó destajistas, pues antes deben examinarse por los sobrestantes las faltas que resulten en el número ó los desperfectos, para exigir la responsabilidad á quien corresponde.

Suele haber talleres para la construccion ó reparacion de herramientas, de los cuales hay un encargado especial, que debe llevar el alta y baja de herramientas en recomposicion, de los materiales empleados, jornales y tiempo empleado, etc.

La numerosa documentacion oficial que se exije en el servicio de construccion y conservacion de carreteras, haria necesario formar un escrito muy voluminoso, si hubiese de darse cuenta de todas las órdenes que hay sobre estos objetos.

Los que hayan de ocuparse de esta parte del servicio de obras públicas, encontrarán reunidas todas ellas en el suplemento que publica la *Revista de Obras públicas*, cuyo título es *Coleccion de leyes, decretos, órdenes, reglamentos é instrucciones relativos al ramo de obras públicas.*

Digitized by Google

N.° 1.

DISTRITO DE _____ DE 184 _____ CARRETERA GENERAL DE _____

BRIGADA _____ PELOTON Á CARGO DEL CAPATAZ _____

Lista nomtnal desde el *al*

CLASES.	NOMBRES.	DIAS.	Núm.° de jornales.	Precio del jornal	TOTAL. Rs.	mrs.

Digitized by Google

Digitized by Google

N.° 2.

DISTRITO DE CARRETERA GENERAL DE

SECCION TROZO BRIGADA

QUINCENA DE DE 184

LISTILLA *de los operarios que, al cuidado del que suscribe, se han ocupado durante la espresada quincena en las obras de nueva construccion de esta carretera.*

CLASES.	NOMBRES.	DIAS.	Núm.° de jornales.	Precio del jornal	TOTAL. Rs.	mrs.

Digitized by Google

Digitized by Google

N.° 3.

DISTRITO DE ____ CARRETERA GENERAL DE ____ BRIGADA NÚM. ____

El jefe de brigada ó sobrestante que suscribe, da parte al ingeniero que tiene en trabajo en el dia de la fecha

Peones mayores. . . . . .
Id. menores. . . . . .
Acémilas.. . . . . .
Carros. . . . . .

NOTA.

Digitized by Google

Digitized by Google

N.° 4.

Mes de *dia* *Año*

DISTRITO DE OBRAS DE LA CARRETERA DE

BRIGADA NÚM.

Estado de la fuerza existente en este dia.

	TOTAL.
Capataces.	
Peones.	
Guardas.	
Aguadores.	
Arrieros.	
Caballerías.	
Carros.	

NOTAS.

El jefe de la brigada.

Digitized by Google

Digitized by Google

Mes de *dia* **N.° 5.** *Año*

DISTRITO DE **OBRAS DE LA CARRETERA DE**

CONFINADOS **BRIGADA NÚM.**

Estado de la fuerza existente en este dia.

	Cabos.	Obreros.	Peones.	Aguadores.	Rancheros.	Carros.	Caballerías.	TOTAL.
Fuerza de ayer...								
Altas....								
Suma.....								
Bajas....								
Quedan para hoy.								

NOTAS.

ALTAS.			BAJAS.		
CLASES.	NOMBRES.	MOTIVOS.	CLASES.	NOMBRES.	MOTIVOS.

Digitized by Google

Digitized by Google

SESTA PARTE.

DE LOS CARRUAJES Y ANIMALES DE TIRO EMPLEADOS EN LOS TRASPORTES.

Observaciones generales.

Auuque no sea esencial para nuestro objeto, es interesante al menos el saber las cantidades de accion que desarrollan los motores animados que arrastran las cargas ó carruajes, los diferentes efectos que se producen en diversas circunstancias, y la influencia que deben tener en la traccion ó tiro las diversas partes de que se componen los carruajes.

Investigaciones de Courtois.

Daremos á conocer los diferentes resultados que sobre estas cuestiones se deducen de las investigaciones técnicas y matemáticas del ingeniero Courtois, igualmente que de las de Devilliers, Dupuit y otros. Se dan algunas fórmulas, lo cual exige algun conocimiento de cálculo, pero son sencillas y aun los que no estén en disposicion de hacer las sustituciones necesarias en cada caso, podrán sacar partido de los resultados que se esponen.

Digitized by Google

De los carruajes.

Clasificacion de los carros de trasporte, ventajas é inconvenientes respectivos.

Al examinar Courtois los diferentes carros que están destinados á trasportar cargas, analiza los que generalmente circulan por las carreteras de Francia, de los cuales pueden compararse algunos con los usados en España, y aplicar los resultados sin inconveniente: así distinguiremos los carros de varas entre las que va enganchada la primera ó única caballería que lleva el tiro, y que están montados sobre dos ruedas, y los montados sobre cuatro ruedas, como las galeras, en los cuales las varas están reemplazadas por la lanza colocada en el eje delantero; las ruedas pertenecientes á este eje son mas pequeñas que las traseras, con el fin de poder hacer girar convenientemente el juego.

La primera clase de carros tiene dos inconvenientes difíciles de remediar; el primero, la elevacion del centro de gravedad de la carga, lo cual espone á volcar el carro; y el segundo, que sobre un camino en pendiente, una parte del peso carga sobre el lomo de la caballería de varas cuando baja, y si sube, la parte posterior de la carga tiende á levantar la caballería, disminuyendo de este modo su fuerza de tiro (*).

A pesar de estos inconvenientes se prefieren á veces á los de cuatro ruedas, porque para el mismo peso útil exigen una fuerza de traccion menor, son mas fáciles de construir, menos costosos y mas ligeros. Se consigue con ellos mas efecto ó trabajo con menos gasto; pero se estropean las caballerías de varas inulilizándose frecuentemente.

El trasporte en los carros de cuatro ruedas exige mas fuerza de traccion, pero es mas seguro y los objetos que se trasportan corren menos riesgo.

(*) Los carros de dos ruedas llevan generalmente reatadas las caballerías y tienen el inconveniente de que estas tienen la tendencia á seguir la misma huella y hacen mas pie y destruyen mas.

Digitized by Google

Ruedas.

Las ruedas son las partes mas importantes de un carruaje, hacen que se verifique el tiro mas ó menos fácilmente, y exigen mucho estudio para determinar la forma y dimensiones que mejor convienen sobre cada especie de via.

Las ruedas constan de los *cubos*, para introducir los estremos del eje; los *rayos* ó *radios*; las *pinas*, que forman los segmentos del contorno; y la llanta de hierro que cubre estas pinas y es la que rueda sobre el suelo.

Las ruedas deben ser bien redondas y centradas y tener su circunferencia esterior é interior de modo que estén en un mismo plano perpendicular al eje; sus llantas deben ser bien cilíndricas y el eje ha de atravesar el centro del cubo. Las ruedas que no llenan estas condiciones fatigan inútilmente las caballerías, produciendo, particularmente cuando no son bien redondas, mayores inconvenientes que los que pueden resultar de las irregularidades del camino.

El cubo debe tener bastante radio para facilitar la union de los rayos y disminuir su longitud. Las pinas deben construirse con maderas curvas, para que las fibras no estén cortadas y resistan mejor á los choques (*).

La *caja* del carruaje está sostenida por las ruedas por medio del eje; contiene esta caja la carga ó peso útil.

Relacion entre el peso muerto y el útil.

En cada sitema de carros existe una relacion determinada entre su peso cuando esta vacío y con la carga que puede contener, ó del peso muerto al peso útil. Esta relacion varia del tercio á la mitad; es decir, que un carro puede llevar al menos un peso doble, y cuando mas uno triple del suyo.

Puede suponerse el peso de los carros de dos ruedas, sobre cuatro quintos á lo mas del de estas; en los de cuatro, sobre una y cuarto veces; el peso de las ruedas varia proporcionalmente al ancho

(*) Las ruedas suelen tener sus rayos en el mismo plano, pero tambien las hay de rayos oblícuos que forman una rueda única, esto es ventajoso para los ejes, pero produce mas inconvenientes en el firme.

Digitized by Google

de las llantas y al cuadrado del radio, porque el peso de la unidad de su volúmen permanece sensiblemente constante.

Resistencias que se oponen á la marcha de los carruajes.

Si una rueda perfectamente circular, de material duro y pulimentado, se coloca verticalmente sobre un plano horizontal indefinido, tambien muy duro y pulimentado, el menor impulso bastaria para ponerla en movimiento, y como no esperimentaria en este caso resistencias, podria continuar aquel indefinidamente; pero el estado físico de los cuerpos se opone á que se verifique esto, porque la materia de que se componen las ruedas y los caminos no es muy dura ni está pulimentada, y no son por consiguiente incompresibles; sucede que cuando una rueda se mueve por un impulso dado, esperimenta ciertas resistencias que amortiguan el movimiento sucesivamente, hasta hacerla parar, si un nuevo impulso no viene á reemplazar las cantidades de movimiento absorbidas por las resistencias.

Para determinar estas, hay que notar, que si una rueda no fuese exactamente circular y bien centrada, serian sumamente variables en cada caso, así que para los cálculos se supone que están bien construidas.

Cuando las ruedas de un carruaje ruedan sobre un suelo horizontal, esperimentan en general tres clases de resistencias que son; la que proviene de las desigualdades mas ó menos sensibles que presenta el suelo, y va encontrando sucesivamente la llanta de la rueda; la que resulta de la compresibilidad ó elasticidad del suelo, que cede con la presion, cuya resistencia varia con la flecha de curvatura, pero permanece constante para una misma rueda, y en fin, la que proviene del rozamiento del eje en el cubo. Las dos primeras se confunden cuando las desigualdades son de una altura muy pequeña.

Es importante saber apreciar las resistencias anteriores para tratar de vencerlas.

Digitized by Google

Fórmulas para hallar las resistencias.

Daremos á conocer las fórmulas halladas para cada caso, aunque sin estendernos en el modo de determinarlas, que espone Courtois, espresando únicamente los resultados.

Sea

p, peso de la rueda.

h, altura de una pequeña salida ú obstáculo que haya sobre el plano horizontal.

r, radio de la rueda.

F, fuerza aplicada á la rueda que pasa por su centro y comprendida en el plano de este.

Estableciendo las ecuaciones de equilibrio se deduce

$$F=p\sqrt{\frac{r^2}{(r-h)^2}-1}$$

Si en esta fórmula se hace h *cero*, es decir, se supone que no hay obstáculo ó aspereza alguna, siendo la rueda perfecta, horizontal y cilíndrica, resulta $F=0$, lo que dice que no debe encontrar ninguna resistencia á moverse esta rueda en un plano horizontal.

Si las asperezas ó desigualdades son escesivamente pequeñas, se reduce la fórmula á

$$F=p\frac{\sqrt{2rh}}{r} \qquad (1)$$

que da la espresion del esfuerzo que hay que ejercer para hacer rodar una rueda sobre un suelo horizontal, que presente pequeñas desigualdades uniformemente distribuidas y de alturas sensiblemente constantes.

Si el suelo estuviese sin desigualdades pero fuese compresible, cederia cierta cantidad bajo el peso de la rueda; de este modo rodaria como sobre un plano inclinado: sea h' la altura del plano in-

Digitized by Google

clinado que corresponde á la parte hundida ó la flecha, se obtiene en este caso:

$$F=p\frac{\sqrt{h'}}{2r-h'} \qquad (2)$$

y siendo el suelo compresible y elástico se reduce á

$$F=p\frac{\sqrt{2rh'}}{2r}. \qquad (3)$$

Cuando el suelo está cubierto de desigualdades de muy pequeña altura h y es algo compresible, siendo h' la altura media ó flecha de las partes compresibles, el esfuerzo necesario para mover la rueda es

$$F=p\frac{\sqrt{2r}}{r}\left(\sqrt{h}+\frac{1}{2}\sqrt{h'}\right). \qquad (4)$$

Siendo el suelo elástico y sin desigualdades tomará una curvatura de flecha constante h con ruedas del mismo peso p, cualquiera que sea el radio; la espresion se reduce entonces á

$$F=p\frac{1}{2}\sqrt{\frac{2h}{r}}; \qquad (5)$$

espresion que ha hecho decir á Edgeworth y Dupuits, que la resistencia que esperimenta una rueda moviéndose sobre un plano horizontal ó el *rozamiento de rodadura* es proporcional á la presion y está en razon inversa de la raiz cuadrada del radio; pero observa Courtois que esta circunstancia no puede tener lugar sino en el caso de que el peso de la rueda sea independiente de su radio, y la altura h de la flecha de curvatura constante, cualquiera que sea el diámetro de la rueda. Esto podria verificarse en el caso de un suelo

Digitized by Google

compuesto de maderos transversales de un grueso igual y de una misma elasticidad, en los cuales se hicieran rodar ruedas del mismo peso que difiriesen solo en la magnitud de sus diámetros; pero los firmes no pueden compararse á esta clase de suelos, por lo que la fórmula última no puede aplicarse sino en circunstancias escepcionales.

Tambien se obtiene la fórmula

$$F=\frac{prsen.a}{r-h} \qquad (6)$$

en que a representa el ángulo que la vertical forma con el radio que pasa por el estremo del arco de contacto de la parte hundida, ó donde cesa este hundimiento.

La compresibilidad del suelo hace que las ruedas penetren á cierta profundidad, como sucede con frecuencia, y se concibe que las ruedas de un mismo peso penetrarán tanto menos cuanto mayor sea su diámetro. Sucederá con frecuencia que estas cesarán de penetrar, cuando la seccion al nivel del suelo de las ruedas que se comparan presente la misma superficie; entonces $rsena$ será constante para todas las ruedas, y si h es bastante pequeña para poderse despreciar con respecto á r, resultará que en estas circunstancias la resistencia estará en razon inversa del radio.

Si como tiene lugar generalmente, el peso p de las ruedas es funcion del radio en vez de ser constante, entonces en vez de disminuir la resistencia con la magnitud del radio, puede aumentar. Si, por ejemplo, el peso de las ruedas aumenta proporcionalmente al cuadrado del radio, como tiene lugar en los cilindros, designando por l el grueso de las ruedas y por m el peso de la unidad de volúmen, y siendo π la relacion de la circunferencia al diámetro, se obtiene la fórmula

$$F=\pi mlr\sqrt{2rh-h^2}. \qquad (7)$$

Digitized by Google

Cuando la cantidad de debajo del radical sea constante, la resistencia será proporcional al radio.

Cuando en la fórmula (6) h es muy pequeño relativamente á r y puede despreciarse, resulta

$$F=psena. \qquad (8)$$

Lo que dice que para ruedas del mismo peso, la resistencia es proporcional al seno del ángulo a.

Si el suelo es tal que el ángulo a permanece constante para ruedas del mismo peso, la resistencia será tambien constante; es evidente que los firmes ordinarios no pueden gozar de esta ventaja, que parece solo pertenecer á los carriles de los caminos de hierro.

Comunmente la resistencia á la rodadura en un firme horizontal y en buen estado, permanece constante para una rueda del mismo peso y del mismo radio, y la esperiencia da frecuentemente que esta resistencia está en razon inversa del radio y se puede admitir sin error sensible para ella la espresion

$$F=\frac{pd}{r}; \qquad (9)$$

d es un coeficiente que debe hallarse esperimentalmente, y que varia con la naturaleza y estado del camino; resulta que el rozamiento de rodadura transforma la presion en una fuerza horizontal igual á $p\frac{d}{r}$.

La fórmula 9 da, cuando $r=1, d=\frac{F}{p}$,

lo que proporciona un medio fácil de obtener d. En efecto si se toma una rueda de un metro de radio y de un peso cualquiera, y se mide con cuidado el esfuerzo necesario para sostener su movimiento sobre un firme horizontal, la relacion entre este esfuerzo y el peso

Digitized by Google

de la rueda dará el valor d que conviene adoptar en el firme, sobre que tiene lugar la esperiencia.

Considerando una rueda que gira sobre su eje rodando sin resbalar nada en un camino horizontal, conservando las mismas anotaciones anteriores y llamando P el peso que carga sobre la rueda, r_1 el radio del eje y f el coeficiente del rozamiento que tiene lugar en el punto de apoyo de este eje, se deduce por fin valiéndose del principio de las velocidades virtuales

$$F=\frac{(P+p)d}{r}+\frac{Pfr_1}{r}=\frac{pd}{r}+P\frac{(d+fr_1)}{r}. \qquad (10)$$

Esta ecuacion conviene á los carros de dos ruedas y á los de cuatro ó seis cuando todas tienen el mismo diámetro y se mueven sobre un camino horizontal.

En el caso de que el diámetro de las ruedas varie de un juego á otro, como sucede en las galeras, se modifica la espresion (10). Para determinar el esfuerzo necesario para producir el movimiento de la galera ó carruaje de cuatro ruedas, se puede considerar el sistema compuesto de dos carruajes de á dos ruedas cada uno, sujetos á seguir la misma direccion, y se obtiene la fórmula

$$F=(P+p)\frac{d}{r}+(P'+p')\frac{d}{r'}+\left(\frac{P}{r}+\frac{P'}{r'}\right)fr_1$$

para el esfuerzo necesario para sostener el movimiento, siendo P', p', r' cantidades análogas á las P, p, r para las ruedas traseras; r_1 es el radio igual de ambos ejes.

Por una marcha análoga se determinaria el esfuerzo para uno de seis ruedas, ó de tres carros reatados.

Cuando el carruaje ha de marchar sobre un camino en pendiente, cuya inclinacion es i, entonces hay que elevar el peso total á la altura i sobre cada metro de longitud, es decir, que el esfuerzo de traccion se aumenta con la componente del peso total paralela á la

Digitized by Google

pendiente. El esfuerzo en este caso para producir el movimiento de un carro de dos ruedas es

$$F=(P+p)\left(i+\frac{d}{r}\right)+P\frac{fr_1}{r}. \quad (12)$$

Y para la galera

$$F=(P+p)\left(i+\frac{d}{r}\right)(P'+p')\left(i+\frac{d}{r}\right)+\left(\frac{P}{r}+\frac{P'}{r}\right)fr_1. \quad (13)$$

Cuando un carro baja una pendiente, el peso total se descompone en el sentido de ella, y tiende á dismiuuir el esfuerzo y la espresion del que es necesario para moverle es

$$F=(P+p)\left(\frac{d}{r}-i\right)+\frac{Pfr_1}{r}. \quad (14)$$

En el caso que

$$(P+p)i=(P+p)\frac{d}{r}+P\frac{fr_1}{r}$$

el esfuerzo necesario será nulo y el carro bajará por su propio peso.

Si una galera ó carruaje de cuatro ruedas baja por una pendiente, cuando se verifique

$$(P+p+P'+p')i=(P+p)\frac{d}{r}+(P'+p')\frac{d}{r'}+\left(\frac{P}{r}+\frac{P'}{r'}\right)fr_1,$$

resultará que despues de haber recibido cierto impulso suficiente para vencer su inercia, continuará moviéndose en virtud de su propio peso.

Cuando el peso que ha de trasportarse es conocido, se puede determinar el peso ó radio de las ruedas que conviene adoptar, para que el esfuerzo que haya que ejercer sea el mínimo posible: en este caso la fórmula se reduce á

$$F=\frac{2pd}{r} \quad (15)$$

que indica, que el esfuerzo mínimo es doble del necesario para mover ó hacer rodar las ruedas sin carga.

Digitized by Google

Siendo m el peso de la unidad de volúmen de las ruedas y l el ancho de las llantas, se obtiene por algunas trasformaciones

$$F=4\pi m r l d \quad (16).$$

Siendo el esfuerzo constante con el producto rl, para trasportar un peso dado con el menor esfuerzo, bastará dar á l el menor valor que pueda tener con relacion á la resistencia absoluta de las ruedas, y á la resistencia del suelo, para encontrar el mayor radio posible de las ruedas. Si este valor escediese del mayor que es posible emplear por la talla de los caballos, será necesario tomar para r este mayor valor y determinar en seguida el de l, sea por medio del peso P ó del esfuerzo F.

Aplicacion de las fórmulas.

Aplica Courtois los resultados hallados á varios casos particulares, estableciendo los valores de los coeficientes que entran en las fórmulas.

En un informe ordinario, el valor de d, ó el rozamiento de rodadura, si está en buen estado de conservacion, viene á ser $d=0{,}035$. El rozamiento f en el eje, puede reducirse á 0,12 y tomando un diámetro para este de $0^m 06$, se obtiene $fr_1=0{,}0036$. Tomando para m el valor medio encontrado para las ruedas de 817 kilógramos, se tiene $\pi m=2565$. En el caso de un furgon cargado con dos troncos de encina de 9^m de longitud sobre un camino horizontal, el diámetro que deben tener las ruedas para que se ejerza el menor esfuerzo posible, es de 3 metros término medio, que es el que dan en Francia á esta clase de carruajes, destinados á trasportar maderas atadas debajo del eje. El esfuerzo necesario aplicando la fórmula 15 resulta ser de 600 kilógramos, que es el que puede ejercer un caballo de tiro francés acostumbrado á trabajar 7 horas al dia.

En el caso de que tenga que subir una pendiente de mas del 3 por 100, es inútil dar mas de un metro de radio á las ruedas.

Las fórmulas dan, que con una caballería, un carro con ruedas de 1,29 metros de radio y llanta de 0,08 de ancho, ejerciendo un

Digitized by Google

esfuerzo de 70 kilógramos, arrastraria 2488,01 kilógramos de carga máxima en camino horizontal.

Un carro con ruedas de llanta de $0^m 08$, ó mas bien galera con $0^m 04$ de llanta, cuyas ruedas no tuviesen mas que $0^m 60$ de radio, podria ser arrastrada por una caballería con carga total, incluso el peso del carruaje de 766 kilógramos, y en una pendiente del 3 por 100.

En el caso de carros que circulen por caminos de 0 al 3 por 100 de pendiente, se debe dar á sus ruedas un radio medio de $0^m 945$.

Para evitar el deterioro de las carreteras, los reglamentos tienden á limitar el peso de los carros y el de sus cargas, por lo cual se establece cierta relacion entre el peso total y el ancho de la llanta, apreciando aproximadamente el peso por el número de caballerías de tiro, ó determinándole por medio de puentes básculas. Estos diferentes modos de apreciar el peso, ejercen cierta influencia en la forma que la industria de trasportes tiene interés en dar á los carros de que hace uso.

Si las carreteras están mal construidas ó en mal estado, los carruajes están espuestos á sacudimientos frecuentes, y deben ser mas sólidos y pesados, y cuando el peso total está limitado por los reglamentos, resulta que la carga es menor relativamente á este peso total.

En carreteras en mal estado el peso útil trasportado puede no llegar á ser mas que la mitad del total; en buenas carreteras será los $\frac{2}{3}$, y en las circunstancias mas favorables puede llegar, aunque rara vez, á $\frac{3}{4}$. La industria de trasportes procura hacer los carruajes lo mas ligeros posible, mas para que sean sólidos hay cierta relacion entre su peso y el de la carga mayor que pueden llevar, y aunque no haya nada fijo sobre esto todavia, los datos consignados por Schevilgné y Emmery indican que para las galeras el peso de la

Digitized by Google

caja es casi los $\frac{3}{10}$ del peso útil ó carga, y en los carros de dos ruedas, $\frac{5}{20}$ de la carga aumentada de 100 kilógramos.

La ecuacion 10 se simplifica, haciendo $R=P+p$ ó al peso total del carruaje cargado, suponiendo el peso de la caja, ó carro propiamente dicho, sin las ruedas, de 100 kilógramos aumentado de $\frac{3}{20}$ del peso útil, se deduce despues de algunas trasformaciones,

$$Fr=R(d+fr_1)-5130r^2\,lfr_1 \quad (17).$$

$$R=\frac{100+p}{0,23} \quad (18).$$

Por medio de estas ecuaciones se pueden determinar dos de las cuatro cantidades F, l, r y R, cuando las demas sean conocidas; por ejemplo, el peso total y el radio que conviene dar á las ruedas de un carro de varas, conociendo el esfuerzo de que es capaz la caballería ó caballerías, y el ancho de las llantas.

En el caso de una galera ó carro de cuatro ruedas, $R=P+P'+p'$ y si se supone la carga distribuida de modo que el esfuerzo que exige el juego trasero sea sensiblemente igual al delantero, se obtiene despues de varias trasformaciones

$$F(r+r')=2R(d+fr_1)-5130\,l(r+r')^2\,fr_1 \quad (19).$$

espresion idéntica á la del caso de un carro, en que el peso total fuese $2R$ y el radio de las ruedas $r+r'$.

Cuando el peso que ha de cargar sobre el juego trasero deba estar en una relacion determinada b con el ancho de las llantas de estas ruedas, se obtiene la fórmula

$$\frac{F}{l}=\frac{400b(d+fr_1)}{r'}-5130\,(r+r')fr_1 \quad (20);$$

Digitized by Google

así, conociendo el esfuerzo F de que un tiro es capaz, y el radio r y r' de las ruedas, se podrá determinar la presion b por centímetro del ancho de las llantas, que las ruedas traseras podrán ejercer, ó el ancho l que conviene dar á las llantas para que la presion efectiva de estas no esceda un límite b fijado *á priori*.

Suponiendo, como se dijo antes, que el peso de la caja del carro de cuatro ruedas sea $\frac{3}{10}$ del peso útil y este los $\frac{2}{3}$ del peso total, se obtiene la fórmula

$$R=\frac{p+p'}{0,13} \quad (21).$$

Entre la 20 y la 21 pueden determinarse dos de las cinco cantidades que entran, conociendo las otras tres.

De las caballerías de tiro.

Disposicion y número de caballerías en los tiros.

El tiro de los carros de varas está compuesto de caballerías reatadas ó de una sola fila.

En las galeras con número par de caballerías, el tiro forma dos filas.

En el tiro de tres caballerías, dos van á los lados de la lanza, y la tercera delante.

En el tiro de cinco, dos van á los lados de la lanza, y en Francia acostumbran á poner las tres restantes delante en una fila. En España se suelen parear, y la quinta caballería colocarla delante.

En el de siete, cuatro van pareadas y tres delante y de frente: en España van pareadas y una delante.

Cuando van en fila ó reatadas, el tiro que se ejerce es mas uniforme; cuando van dos ó tres caballerías de frente, puede producir mayores esfuerzos y vencer mas fácilmente cualquiera obstáculo.

Digitized by Google

Esfuerzo desarrollado por las caballerías: fórmulas generales.

Para hallar los esfuerzos que puede desarrollar un caballo, sea, M la masa de uno que esté acostumbrado al trabajo y marchas; T el tiempo que diariamente emplea en cualquiera de estos objetos; V la velocidad que puede tomar y conservar durante el tiempo T, marchando libre y sin carga alguna, de modo que pudiera hacer el mismo ejercicio diario sin esperimentar la fatiga; v la velocidad que puede conservar durante el mismo tiempo T, ejerciendo cierto esfuerzo F.

La espresion

$$\frac{1}{2} M V^2 T \qquad (22)$$

representa la mayor cantidad de accion que puede desarrollar diariamente sin esperimentar esceso de fatiga (*).

El caballo acostumbrado al trabajo no esperimenta esceso de fatiga cuando marcha libre y sin carga, si $V^2 T$ permanece constante. Haciendo variar V y T entre los límites de velocidad y duracion que conviene á su costumbre y constitucion, la cantidad $V^2 T$ es constante tambien para cada caballo, siendo susceptible de esperimentar ligeras variaciones de una caballería á otra, pero permanece sensiblemente constante para caballos de la misma talla y constitucion, y de la misma edad próximamente.

Cuando el caballo trabaja el tiempo T con la velocidad v, su potencia relativa ó la mayor cantidad de accion que puede desarrollar en esta circunstancia, es

$$\tfrac{1}{2} M (2V - v) v T \qquad (23).$$

El esfuerzo que ejerce es

$$F = M(V - v) \qquad (24)$$

(*) Los cálculos de Courtois sobre los diferentes efectos que pueden obtenerse de las caballerías, fundados en la proporcionalidad de aquellos con la *masa ó peso* del animal, solo podrá dar una idea algo aproximada de estos efectos. Se concibe que puede haber animales que á igualdad de *peso ó masa* tengan distinta fuerza ó resistencia; esta dependerá de la edad, alimentos, clima, raza, constitucion, costumbre de trabajar, etc.

Digitized by Google

La cantidad de accion que desenvuelve

$$Fv+\frac{Mv^2}{2} \qquad (25).$$

Para que esta cantidad no esceda la fuerza del animal, debe tenerse

$$Fv+\frac{Mv^2}{2}=\frac{M}{2}(2V-v)v.$$

La espresion de la fuerza disponible de la caballería es

$$F+\frac{Mv}{2}=\frac{M}{2}(2V-v) \qquad (26).$$

Pruebas de agilidad, fuerza, etc., de las caballerías.

Prescindiendo de la belleza de forma ó buena estampa de un caballo y en general de una caballería cualquiera, sus cualidades útiles son agilidad, fuerza y resistencia á las fatigas, y como poseen estas cualidades en distintos grados, puede ser necesario apreciarlas en las de distinta naturaleza, talla y edad. Para esperimentarlas se les hace marchar ó correr durante un tiempo dado renovando los ejercicios durante varios dias seguidos; los mejores caballos se juzgan aquellos que no esperimentan esceso de fatiga y que pueden volver á continuar los mismos ejercicios sin esperimentar alteracion en su salud ni debilitar su constitucion.

Si durante las marchas ó carreras los caballos están libres y sin carga, el mas vivo y vehemente será el que corra la mayor distancia, y la cantidad V será mayor para este que para los demas. El caballo mas fuerte será aquel en que el producto MV sea el mayor, y el mas apto para el trabajo será aquel en que MV^2 esceda al producto análogo para los demas caballos.

Cuando en las pruebas llevan ginete no se obtiene tan fácilmente el valor de su fuerza y es necesario deducir de la velocidad

Digitized by Google

que toma el caballo en este caso la que podria tomar si estuviese libre y sin carga.

Remite Courtois en este caso á su tratado de motores (*), haciendo las indicaciones siguientes:

Las cantidades que espresan la fuerza y aptitud para el trabajo serán generalmente desiguales, y un mismo caballo no podrá esceder á los otros en estas cualidades sino cuando los caballos admitidos al concurso sean de constitucion poco diferente y tengan *masas* próximamente iguales; en este caso el caballo mas veloz podrá ser al mismo tiempo el mas fuerte.

En las carreras de caballos no se aprecia generalmente sino la velocidad, sin tener en cuenta la fuerza y disposicion al trabajo, cualidades eminentemente útiles en las caballerías que se emplean en la agricultura, en la industria y en el ejército. El caballo que posea estas cualidades podrá ser de peor estampa que otro mas ágil ó veloz; pero será mas útil y tendrá mayor valor aunque su precio sea inferior. Deberia procurarse el fomento de estos caballos dejando con preferencia á las personas ricas el cuidado de criar caballos de lujo.

Un caballo que marcha durante 10 horas al dia, verifica su trabajo máximo con una velocidad de 3200 metros por hora, segun Navier y Wood, y 4000 segun Tredgold y Edgeworth, siendo el término medio 3600 metros ó un metro por segundo, velocidad que difiere poco de los caballos de tiro acostumbrados á andar dicho tiempo.

Siendo la velocidad del caballo que produce su trabajo máximo, la mitad de la que puede tomar libre y sin carga en el mismo tiempo, resulta que cuando $T=10$ horas ó 36000 segundos, se tiene $V=2$ y $V^2\ T=144000$, resultado medio que no varia sensiblemente en caballos de la misma talla acostumbrados á trabajos análogos y de constitucion fuerte.

La mayor velocidad de un caballo rara vez ha pasado de 16 me-

(*) Traité theorique et practique de moteurs.

Digitized by Google

tros por segundo y sostenida solo algunos instantes; en las carreras de Paris, 14 á 15 metros por segundo, no escediendo de un cuarto de hora la duracion de la carrera. El caballo á que se hace correr una hora cada dia no puede andar mas que 23 kilómetros.

Los resultados que pueden obtenerse de la ecuacion (27) siendo independientes de la masa del caballo, convienen á todos los de la misma talla y casi de la misma edad, entre los límites dados por las costumbres de cada uno. El caballo de carrera, por ejemplo, no sufriria una marcha de 18 horas á pequeña velocidad, y el caballo de tiro galopa pocas veces y no puede soportar este paso largo tiempo.

El caballo acostumbrado al trabajo, cuando produce el máximo, ejerce un esfuerzo

$$F=\frac{MV}{2} \quad (28),$$

lo que dice que el esfuerzo es proporcional á la masa ó peso del animal; pero esto no es exacto mas que para el caballo acostumbrado á la fatiga, y no podria aplicarse á caballos muy jóvenes ni á los viejos y débiles; en estas circunstancias hay que valerse de pruebas especiales; hay que distinguir tambien entre el caballo robusto y ejercitado, y el caballo grueso por efecto del descanso y regalo. La robustez del primero, existe en su fuerza muscular; en el segundo, su misma gordura ó robustez aparente es mas bien una masa incómoda que disminuye su fuerza.

Variando el peso de un caballo entre 200 á 700 kilógramos, cuando marche durante 10 horas produciendo su trabajo máximo, el esfuerzo que ejerce varia de 20,58 kilógramos á 71,35.

En un camino horizontal para utilizar la fuerza del caballo lo mejor posible tirando de un carruaje, debe tenerse

$$Pn=\frac{MV}{2} \quad (29),$$

Digitized by Google

siendo n la resistencia que esperimenta el carruaje por unidad de su peso.

Cuando la inclinacion del camino sea i, se tiene para el trabajo máximo

$$P=\frac{M(V-gi)}{2(n+i)} \qquad (30)$$

siendo Mg, ó la masa por la gravedad, el peso de la caballería.

Si el tiro está compuesto de varias caballerías, no es la resultante de los esfuerzos igual á la suma de los que podria ejercer cada caballería aisladamente, sino menor, y la carga media que corresponde á cada caballería, disminuye con su número; sin embargo, para lo que sigue se supone que es dicha suma.

Considerando nn número C de caballerías de la misma fuerza y masa próximamente, el tiro completo podrá arrastrar un peso en una pendiente i de

$$P=\frac{CM(V-gi)}{2(n+i)} \qquad (31).$$

Si es camino horizontal, $i=o$.

Si los caballos son de masa desigual, pero de la misma talla ó constitucion poco diferente, es decir, caballos susceptibles de dar velocidades iguales cuando marchan el mismo tiempo, produciendo su máximo trabajo, representando por M, M', M'', *etc* las masas respectivas se tendrá para el peso total del carro en camino horizontal

$$P=\frac{(M+M'+M''etc)+V}{2n} \qquad (32)$$

si tiene que subir una pendiente

$$P=\frac{(M+M'+M''+etc)(V-gi)}{2(n+i)} \qquad (33)$$

Digitized by Google

Si las caballerías difieren por su masa y constitucion, de modo que $V^2 F=q$; la cantidad q, constante para un mismo caballo, varia de uno á otro, y cada uno no puede ejercer su trabajo máximo; unos toman velocidad mas pequeña de la que podrian tomar sin esperimentar esceso de fatiga, y otros tienen que tomarla mayor que la que corresponda á su constitucion.

La espresion del peso total que el tiro podrá arrastrar será en el caso actual en camino horizontal

$$P=\frac{M\sqrt{q}+M'\sqrt{q'}+M''\sqrt{q''}+etc}{n\sqrt{T}}-\frac{M+M'+M''+etc}{n} \qquad (34).$$

Siendo $q'M'$, $q''M''$, cantidades análogas á qM, indicada antes.

En el caso de una pendiente cuya inclinacion fuese i se tiene

$$P=\frac{M\sqrt{q}+M'\sqrt{q'}+M''\sqrt{q''}+etc}{(n+i)\sqrt{T}}-\frac{(M+M'+etc)(V+gi)}{n+i} \qquad (35).$$

Parece que la industria de trasportes encuentra ventaja en preferir los carruajes grandes á los pequeños; pero esta ventaja está limitada por la pérdida de fuerza que tiene lugar en los tiros de muchas caballerías, porque el peso medio tirado por cada caballería disminuye progresivamente á medida que aumenta el número; así, dice Courtois, que en Francia comunmente emplean 5 caballerías y en casos escepcionales solo se hace uso de 8; pero en España las galeras emplean con frecnencia hasta 10 caballerías de tiro.

La pérdida de fuerza que hay siempre en los tiros compuestos de muchas caballerías proviene del defecto de uniformidad de accion en cada caballería y por consecuencia del defecto de union en los esfuerzos ejercidos.

En el tiro de un carro con 4 ó 5 caballerías, la pérdida proviene en parte de la caballería de varas que ocupada en dirigir aquel y obligada á sufrir una carga mas ó menos grande, no puede desplegar mas que una fuerza de traccion pequeña.

Digitized by Google

En los tiros de galeras la tension de las cadenas, su peso, el de las colleras, etc., fatigan las caballerías y consumen inutilmente una parte de los esfuerzos.

Se indicarán los medios de apreciar estas pérdidas.

M. Schwilgné en su Memoria sobre los caminos y la circulacion, de 1832, ha tratado de averiguar por gran número de observaciones la carga media que llevan los carros de 3, 4, 5, etc., caballerías, y valiéndose de los datos anteriores, ha encontrado que seria muy desventajoso el enganchar mas de 11 caballerías en una galera, pues la pérdida de fuerza pue habria, si se pusiesen mas, seria superior al aumento de un caballo mas. Cuando circunstancias escepcionales obliguen á enganchar gran número de caballerías á un carruaje, debe dividirse el tiro reuniendolas en grupos de á 4 ó 5 con un zagal cada grupo, para que haya mas uniformidad en los esfuerzos.

Examina Courtois el caso en que se trata de hallar el número de caballerías que conviene enganchar en los carruajes de trasportes á fin de disminuir en cuanto sea posible el precio de estos, dando los medios de disponer en circunstancias dadas el tiro mas ventajoso.

El precio de trasporte se compone, del jornal del mayoral, del de las caballerías, precio de alquiler del carruaje y sus reparaciones. La suma de estos gastos, sea al cabo de un dia, de una jornada, ó al fin de la distancia andada, comparada á la masa trasportada, permite determinar el costo de trasporte. En una misma carretera el precio varia con la fuerza del tiro que se emplea, porque si el carruaje tiene una sola caballería, el gasto del conductor ó mayoral y el del caballo, hará subir relativamente mas el trasporte que si tuviese 2 caballerías; pero si el tiro está compuesto de muchas caballerías, el defecto de uniformidad en los esfuerzos causa una pérdida, cuyo valor viene al fin á esceder á la economía que podria obtenerse en los gastos de trasporte; despues de haber disminuido concluyen por ser mayores. Existe una combinacion que debe hacer estos gastos los menores posibles.

Digitized by Google

Deduce Courtois una fórmula en la cual se establece la relacion entre el número de caballerías y el precio de trasporte, que depende de la relacion entre el precio del jornal del carretero y de cada caballería. Si estos precios fuesen iguales, deduce que el tiro mas ventajoso para el gasto seria á lo mas de 4 caballerías. Si el precio del gasto total de cada caballo es doble del relativo al carretero; el tiro debe ser á lo mas de 3 caballerías.

Un carro con 3 caballerías, siendo cada una capaz de un esfuerzo constante de 70 kilógramos, pesará cargado 4500 kilógramos; el peso útil será de 3000 kilógramos y andará 36 kilómetros al dia.

La aplicacion de las fórmulas da la fuerza de los tiros compuestos de caballerías capaces de producir un esfuerzo constante de 70 kilógramos cada una, durante 10 horas al dia, el peso de las cargas que pueden arrastrar y el ancho que deben tener las llantas de sus ruedas para que la presion no esceda de 118 kilógramos.

Resulta, que limitando á 0^m20 el mayor ancho de las llantas de los carros de trasporte, y la presion por centímetro de ancho de esta, á 118 kilógramos, presion igual á la que ejercen sobre los caminos los carros con un caballo, no debe ponerse á estos carros mas de 3 caballerías y el peso trasportado escederá rara vez de 4000 kilógramos, empleándose de este modo la fuerza del caballo del mejor modo posible.

Adoptando el mismo límite de presion para las ruedas mayores de las galeras, supuestas de un metro de radio y la llanta de 0^m20, corresponde á un tiro de 8 caballerías, el mayor de que conviene hacer uso en casos estraordinarios.

Si el peso que hubiese que trasportar fuese muy considerable para exigir 11 caballerías de tiro, se podria reatar un carro de dos ruedas del mismo ancho de llanta de 0^m20, obteniendo así un carruaje de 6 ruedas.

Tambien se deduce que no debe engancharse 5 caballerías á un carro con 0^m11 de ancho de llanta, porque la fuerza podria subir á 300 kilógramos por centímetro de ancho de esta y aplastaria los materiales del firme; seria menos malo el poner 8 caballerías á una

Digitized by Google

galera de 0m 11 de ancho de llanta, porque la presion seria solo de 223 kilógramos por centímetro de ancho de ella.

Investigaciones de Desviliers sobre la fuerza de tiro.

Desviliers en sus investigaciones sobre la cantidad de accion desarrollada por las caballerías de tiro al subir las rampas de distintas inclinaciones, da los resultados siguientes:

El tiro de dos caballos es preferible al de 3, escepto cuando empieza á fatigarse, momento en que parece empiezan á trabajar todos los caballos igualmente.

La accion de los animales subiendo una pendiente continuada y variable de inclinacion va aumentando durante cierto tiempo, y decrece en seguida, pues carecen del instinto de no emplear constantemente la misma cantidad de fuerza.

Las largas pendientes parecen desventajosas en cuanto al resultado del trabajo de los caballos, pues tienen que reposar en ellas.

Esperimentos de Dupuits sobre la fuerza de tiro y resistencias.

Los esperimentos de Dupuits dan los resultados siguientes:

La velocidad aumenta la fuerza de tiro. El rozamiento en la llanta es el mismo al subir que al bajar é independiente de la inclinacion del camino.

El ancho de la llanta disminuye el rozamiento.

La suspension cuanto mas completa sea disminuye mas el tiro. Para los carruajes de cuatro ruedas no pudo verificar suficientes esperiencias.

La fuerza de traccion está en la relacion de 1 : 4 : 6 para los caminos de hierro, los empedrados y los firmes ordinarios.

Siendo el diámetro de las ruedas en los caminos de hierro, casi la mitad que en los comunes, el rozamiento en los ejes en los primeros puede valuarse en $^5/_8$ y $^1/_3$ en los segundos, por consiguiente la cuestion de la division de cargas y diámetro de las ruedas es mas importante en los caminos de hierro.

Admitiendo cierta relacion entre la fuerza, la traccion y la pendiente máxima, y que cuando hay que echar la *galga* ó *calza* á las ruedas, cesa de ofrecer el carruaje al bajar en beneficio del tiro

Digitized by Google

una adicion de potencia igual al gasto de fuerza que se empleó al subir, no se debe admitir pendientes mayores que la relacion que hay entre el tiro y la presion, es decir, partiendo de las cifras 6, 4 y 1 deben fijarse las pendientes máximas en

3 por 100 en los firmes ordinarios.

2 por 100 en los empedrados.

$^1/_2$ por 100 en los caminos de hierro.

Concluye Dupuits de sus esperiencias, suponiendo el tiro proporcional al peso, que hay ventaja en sobrecargar un carro, pues se aumenta el peso útil trasportado y hay economía en los gastos de conduccion de no tener mas que un carruaje muy cargado en vez de muchos ligeros; por otra parte el esceso de ancho de las llantas, necesario para la solidez de la rueda, es peso inútil.

Esperimentos de Morin

De los esperimentos de Morin se deducen los resultados siguientes:

En los caminos de firmes ordinarios bien cilindrados ó empedrados, la resistencia á la rodadura es sensiblemente proporcional á la presion ó al peso total del vehículo é inversa del diámetro de las ruedas; crece con la velocidad, pero aumenta tanto menos cuanto mejor suspension tiene el carruaje y mejor estado tiene el camino.

En caminos compresibles, de tierra, arena, guijo, etc., disminuye la resistencia á medida que aumenta el ancho de las llantas. En los terrenos blandos, la resistencia es independiente de la velocidad.

En todas circunstancias, cuando se ejerza el tiro por las caballerías es necesario se verifique lo mas horizontalmente posible, para poder obtener el mayor efecto y no fatigarlas.

La industria de trasportes tiene interés en emplear ruedas del mayor diámetro posible. Los carros de lanza ó timon se prestan mejor al empleo de ruedas de gran diámetro, que los de dos ruedas; pero cuando los caminos están en mal estado, las caballerías de lanza se fatigan mucho.

Digitized by Google

Aproximando entre sí los ejes de las ruedas de modo que cargue mas el peso sobre el juego trasero, se podrá disminuir el tiro y se aligerará la carga sobre el juego delantero; sin embargo es necesario que haya la suficiente carga sobre este, para que no se levante el carro al subir las cuestas.

Digitized by Google

Digitized by Google

NOTAS.

PRIMERA.

RESUMEN DE LAS OPERACIONES DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS EN LAS DIVERSAS ESTACIONES DEL AÑO.

Construccion.

Se han dado á conocer en el testo las diferentes partes de que consta la construccion y conservacion de carreteras, los métodos de ejecutarlas y las circunstancias mas ó menos favorables para verificarlos, pero creemos conveniente presentar un resúmen general de la ejecucion de estas operaciones en las diferentes estaciones del año.

Invierno.

Cuando hayan de emprenderse obras de construccion de carreteras, es el invierno la peor época de verificarlo, particularmente en las provincias situadas al Norte. En esta época del año los dias son muy cortos y aunque puedan obtenerse jornales mas baratos y encontrarse los carros y acémilas mas fácilmente, no compensa sin embargo generalmente esta circunstancia la menor cantidad de trabajo que puede hacerse, pues viene á ser término medio $\frac{7}{10}$ del que se efectua en el verano: así es que solo por medida de gobierno podrá ser aceptable el verificar las esplanaciones de carreteras en esta época.

Digitized by Google

Pero no es solo la circunstancia indicada la que contribuye al aumento de coste, lo produce tambien la dificultad que hay de verificar los desmontes en las épocas de lluvias continuadas ó hielos. En el primer caso las tierras se reblandecen con esceso, se forman depósitos de agua en las escavaciones, es mas difícil de estraer el lodo y no es posible dejar bien concluidas ó reparadas las esplanaciones. Cuando las heladas son continuadas, particularmente si ha llovido antes, las tierras se endurecen de tal modo que algunas veces aquellas que antes exigian solo el empleo de la azada para desmontarlas exijen despues el del zapapico. Si los desmontes son en roca, la humedad entorpece ó impide igualmente las operaciones.

En las provincias del Mediodia se modifican algunas de las condiciones que se han indicado en segundo lugar; pero subsisten parte de las demas.

El invierno es la estacion mejor para el asiento de terraplenes.

Para las obras del firme cuando se construye de piedra machacada se ha visto al tratar de ellos lo conveniente que es el que la caja esté seca cuando se echa la piedra; pues de lo contrario se desperdicia material por hundirse esta, etc., así es que tampoco convendrá construirle en este tiempo; pero si que lo esté ya, pues puede convenir en paises secos aprovechar las aguas primeras del invierno para consolidar el firme por medio del cilindro. Los firmes empedrados tampoco deben construirse en esta época, como se ha visto, de suerte que casi subsisten para estas obras que para las de esplanaciones, las mismas razones *de pérdida de tiempo y dificultad de construccion*.

Las obras de fábrica, con mayor motivo que las anteriores, no deben emprenderse ó continuarse en este tiempo, particularmente las de alguna entidad como los puentes; las fundaciones son difíciles y arriesgadas, si es que no hay imposibilidad completa de verificarlas en rios de alguna consideracion; los morteros están espuestos á descomponerse por las aguas; hay que suspender los trabajos con frecuencia y es molesto el verificarlos. Aun cuando las

Digitized by Google

fundaciones sean en seco, se embalsan las aguas en ellas y reblandecen el terreno: en una palabra, es el invierno la época peor del año para esta clase de obras.

Primavera.

En la primavera suelen empezarse ó continuarse las obras de esplanaciones, en particular en las provincias del Mediodia, porque los dias son mas largos, no hay tanta esposicion á las heladas, y pueden obtenerse trabajadores con facilidad; sin embargo, en algunas provincias, particularmente en todas las comprendidas en la costa cantábrica, la primavera es mala época de verificar obras, en razon á lo contínuo de las lluvias, y hay que dejarlas para épocas mas avanzadas del año; así es que en estas provincias las *campañas* ó épocas de construccion de las obras son mas cortas que en otras y debe contarse con esta circunstancia al calcular la duracion de aquellas. La construccion del afirmado no puede por consiguiente hacerse, puesto que se supone que no se han verificado las esplanaciones; sin embargo, es buena época generalmente de pasar el cilindro, si el afirmado estaba ya construido desde la campaña anterior.

Esta época es la que mas dificultades suele ofrecer para las fundaciones de las obras de fábrica en los rios; los derretimientos de las nieves causan grandes crecidas, y no solo dificultan ó imposibilitan la construccion, sino que causan á veces grandes pérdidas de material. No deben por consiguiente emprenderse obras de esta clase en primavera, y cuando lo estén ya es preciso tener todas las precauciones imaginables para ponerlas en disposicion de resistir á las crecidas, retirar el material de las márgenes á sitios seguros, y estar á la vista para tratar de evitar los daños que podria causar el acarreo de troncos ú otros objetos por el rio.

Antes de concluir la primavera suele, sin embargo, emprenderse ya las obras, pues en algunas provincias el mes de mayo es á propósito para verificarlo, y en general se acopian y preparan los materiales para las obras de fábrica y del firme.

Digitized by Google

Verano. El verano es la estacion de las obras; en ella se abren las campañas y se continuan los trabajos emprendidos, sino se ha verificado ya en la estacion anterior; los dias son largos y no hay interrupciones de trabajo, como no sean momentáneas ó poco apreciables en los casos de tempestades.

Es la época que en las provincias del Norte particularmente debe aprovecharse para adelantar en las obras, tanto de tierra como en las de fábrica y aun para echar las capas del firme aunque sin concluirle, pues no es el tiempo conveniente de recebar y cilindrar. Los rios tienen sus aguas bajas y las fundaciones se adelantan mucho en esta época. En las provincias del Mediodia, suelen ser demasiado calurosos los dias y ser espuesto para la salud de los operarios el cscesivo calor; ademas la tierra en este caso suele estar mas dura y difícil de escabar en los desmontes, y mas aterronada para los terraplenes, lo cual dificulta la construccion; así es que en los climas de grandes calores suele aprovecharse mas parte de la primavera y el otoño para las obras. Los materiales para el firme se acopian tambien y se preparan para emplearlos en tiempo oportuno.

Otoño. El otoño es una estacion muy conveniente en general en todas las provincias de España para hacer obras de tierra, porque tienen estas mejor disposicion para escavarse, y cierta humedad conveniente para emplearlas en los terraplenes. Para las obras del afirmado sobre todo, esta época es mas conveniente, porque las lluvias moderadas hacen que pueda emplearse bien el recebo, verificar el cilindrado, y quedar bien preparado para la circulacion. Las obras de fundaciones pueden adelantar generalmente en dicha estacion, porque las aguas tienen su altura mínima; la temperatura es á propósito tambien para no fatigar á los trabajadores como en los dias de estío.

En general puede reasumirse lo que antecede diciendo:

Invierno: Inconveniente para la ejecucion de obras de toda clase.—Primavera: regular para las de tierra y firme, acopios y preparacion de materiales, mala para las de fundaciones en el agua,

Digitized by Google

y aun fuera de ella y en general para las obras de fábrica.—Verano: bueno en general para las obras de tierra y fábrica, para acopios de material, y preparacion de este, y aun para echar las capas del firme, aunque no para concluirle pues no hace clavo el material.—Otoño: bueno para toda clase de obras.

Conservacion.

Invierno.

Así como en la construccion de carreteras es el invierno la época en que menos se trabaja respecto á la conservacion, en dicha época es cuando mas cuidados y vigilancia exijen las carreteras.

Se ha visto al tratar de la conservacion que el firme sufre degradaciones de varias clases en esta época y en ella es en la que hay que atender á los baches y roderadas, á colocar en su sitio la piedra salida del firme, á la estraccion del lodo y de las nieves, á picar el suelo, etc.

Es necesario tener presentes los preceptos establecidos: así es que cuando hiela no conviene bachear, y en este caso, se aprovecha para otras operaciones, como la de estraer el hielo, desembrozar, etc. Las obras de tierra no se atienden en el invierno, sino para sostenerlas de modo que no perjudiquen el firme, ó cumplan su objeto; así es que se quitan los aterramientos de los paseos y cunetas que impidan correr las aguas, se evitan ó reparan las socavaciones y reparan los taludes ó escarpes de los desmontes y terraplenes. Debe tenerse preparados acopios de piedra, para que los dias en que no pueda trabajarse por los hielos ó fuertes lluvias, pueda el peon dedicarse al machaqueo, para lo cual se construyen chozas inmediatas al camino. En tiempo de lluvias fuertes ó continuadas debe recorrer el peon la parte de carretera ó trozo de que esté encargado, para ver si hay algun desperfecto que corregir con urgencia, y si se ha obstruido alguna tajea ó alcantarilla, y en tiempo de crecida de los rios, para ver si ha causado ó hay esposicion de que cause daño en los puentes, pontones, etc., y dar aviso inmediatamente á su jefe inmediato.

Digitized by Google

Los recargos suelen hacerse tambien en esta época.

En el invierno se aprovechan tambien ciertas épocas del dia, con preferencia para ciertas operaciones; así es que cuando hiela puede aprovecharse para las operaciones que exige el firme, desde la hora en que el sol deshace el hielo, hasta cierta hora de la tarde.

Primavera. Los cuidados del firme se continuan en la primavera en la que pueden verificarse tambien con éxito por la humedad y mayor duracion de los dias; así es que se emplea el material en bacheos, roderadas y recargos, pero cuidando de no esperar á las últimas épocas de dicha estacion para verificarlo, con el objeto de que cuando venga el verano haya podido hacer el asiento ó clavo conveniente: es necesario cuidar contínuamente del arreglo y asiento del material empleado. En algunas carreteras que atraviesan montañas elevadas, como sucede en los puertos, es preciso suspender las operaciones, ó no pueden ejecutarse hasta últimos de la estacion, por impedirlo las nieves. En los valles en que las lluvias son muy continuadas, como sucede en las Provincias vascongadas, Santander, Asturias y Galicia, tambien suele ser mas conveniente el fin de la primavera para las operaciones que exige el firme.

Las obras de tierra pueden repararse en esta época, pues generalmente al fin de la estacion tienen una dureza conveniente sin ser escesiva como en el verano; tambien se atiende á la limpia del lodo, desagües, desembroce de cunetas y reparacion de los desperfectos y socavaciones de los desmontes y terraplenes.

Las obras de fábrica exigen en este tiempo mayor vigilancia, porque es la época en que las avenidas de los rios ó arroyos causadas por los derretimientos de las nieves ó abundancia de las lluvias de la estacion, hacen que se obstruyan ó deterioren: así es que conviene vigilar mucho, cuando estas tengan lugar y reparar las degradaciones, cubrir inmediatamente las socavaciones de las aletas ó cimientos, etc., y limpiar sus paramentos de las yerbas que suelen criar.

Digitized by Google

En el verano cesan las operaciones del firme, como no sea en un caso urgente ó aprovechando los dias de lluvias. Las obras de tierra se reparan generalmente en esta época, verificando los recargos y rectificacion de los paseos, como asimismo la de las cunetas, de los taludes y escarpes de los terraplenes. Los materiales del firme se preparan para emplearlos en el otoño é invierno. Verano.

Se limpia el polvo y quitan las yerbas de los paseos y cunetas, y de las juntas de las mamposterías en las obras de fábrica. No conviene dejar el firme muy al descubierto por el barrido, con el objeto de que el sol no obre tan directamente y pueda conservar algo de humedad cuando llueva, evitando con esto que se desagreguen menos los materiales. En las carreteras de los climas muy húmedos ó frios puede á veces convenir aprovechar el principio ó fin de verano para verificar operaciones que en otros climas conviene hacer en primavera ú otoño. Tambien en este tiempo las tempestades causan daños que hay que reparar inmediatamente; y el peon debe visitar su trozo inmediatamente despues que ocurran para acudir á lo urgente.

En el otoño se reparan ya las degradaciones causadas en el firme durante el verano, se verifican los recargos de modo que el firme quede bien preparado y lo mejor unido que sea posible el material, para resistir á los efectos del invierno, en cuya época se sabe hay mas causas de destruccion y es cuando mas perjudica el tránsito. Tanto por efecto de las lluvias ó humedad de las nieblas como de la circulacion, salen á la superficie los detritus formados en el interior del firme en el verano; así es que suele ser necesario verificar el desenlodado con alguna frecuencia, y debe quedar limpio el firme cuando concluye la estacion, es decir con solo la costra necesaria de detritus, á fin de que no haya esceso de estos al entrar el invierno que es cuando mas se forman. Otoño.

Para la reparacion de las obras de tierra, es la mejor época porque tiene aquella buena consistencia. Las obras de fábrica no

Digitized by Google

exigen generalmente cuidados en esta época, por haber quedado arregladas en verano.

Lo mismo en este caso que se ha dicho respecto á las demas estaciones, sufrirán modificaciones las reglas anteriores segun el clima. En resúmen: el invierno conviene dedicarle á las obras del firme; la primavera á las del firme y algo á las de tierra y fábrica; el verano, nada á las del firme ó lo mas indispensable, y sí á la preparacion de materiales para el mismo, á las obras de tierra y á las de fábrica; el otoño, obras del firme y de tierra y solo ó lo mas urgente ó que haya quedado por concluir en el verano de las de fábrica.

Solo se indican los preceptos anteriores como regla general, pues sufrirán variaciones segun el clima del pais, y no es posible por esto el reglamentar para todas las carreteras las épocas de las diferentes operaciones relativas á su construccion y conservacion.

SEGUNDA.

APLICACION DE LA ELECTRICIDAD A LOS DESMONTES DE LAS CARRETERAS.

Se ha dado á conocer en el testo los aparatos y medios que han solido emplearse para aplicar la electricidad á los desmontes de las carreteras ó esplotacion de canteras; indicaremos ahora las modificaciones recientemente propuestas con este objeto.

Los estudios verificados por el comandante de ingenieros Don Gregorio Verdú, le han dado los medios mas convenientes de aplicar la electricidad á la voladura de los hornillos, y de la Memoria de este ingeniero recientemente impresa, estractaremos las indicaciones que hace sobre este objeto, aunque no entraremos en detalles, refiriéndonos á dicha Memoria (*).

(*) Nuevas minas de guerra y su aplicacion á la defensa, como consecuencia de un reciente descubrimiento, para emplear la electricidad en la voladura de los hornillos.

Digitized by Google

Cuando en un conductor metálico que pueda comunicar por sus estremos con los dos polos de una pila, se forma una solucion de continuidad y se interpone en ella un alambrito de hierro ó de platino, la ignicion de este metal interpolar en el momento mismo en que se cierra el circuito eléctrico, es suficiente para inflamar la pólvora.

Este efecto de la electricidad dinámica ó producida por la pila, es el que principalmente se ha tratado de utilizar para dar fuego á las minas militares, empleándose con este objeto pilas hidro-eléctricas de un solo líquido como las de Wollaston y de Munck, ó bien las llamadas de *corriente constante*, como las de Daniel y Bowen. Para conductor metálico se han usado cintas de cobre rojo y con preferencia alambres del mismo metal, á veces revestidos de una sustancia aisladora; pero generalmente descubiertos ó sin aislar.

Bien se concibe que el efecto físico que en este caso se quiere obtener con la pila, á favor sin duda de la diferencia de conductibilidad entre el cobre del circuito y del metal interpolar, ha de ser bastante enérgica, pues es necesario por lo menos una temperatura de 500° para calentar, hasta la candencia, el alambrito de hierro ó de platino; de manera que si se quisiera conseguir por este medio la inflamacion de la pólvora á distancias que solo escediesen de 300 varas, se necesitaria ya una pila de gran poder, no solo por el número, sino por la superficie de sus elementos, puesto que se requieren á la vez, para producir este efecto, intensidad y tension de la corriente eléctrica.

En 1851 se ensayó en Inglaterra el sustituir al alambrito de hierro ó platino un tubito de gutta-percha, cuyas paredes interiores se hallaban revestidas de sulfuro de cobre. El aparato electromotor se compone de cierto número de pilas pequeñas construidas segun los principios de Wollaston. Cada una está formada de una caja de gutta-percha con doce separaciones, en las que se introducen igual número de pares de zinc y cobre de unas 5 pulgadas cuadradas. Al líquido escitador se sustituye arena cuarzosa, humedecida con

Digitized by Google

agua acidulada por ácido sulfúrico; pero este procedimiento no da corriente constante y no ha correspondido á su objeto.

Aplicando por primera vez el uso de las llamadas *corrientes de induccion*, y estudiando con repetidos esperimentos los efectos de estas corrientes sobre varios compuestos químicos inflamables ó esplosivos, ha logrado el Sr. Verdú obtener un medio sencillo y práctico, ademas de ser económico y seguro, de inflamar la pólvora á distancias casi ilimitadas.

El procedimiento se compone de cuatro partes principales, á saber:

1.ª Pila hidro-eléctrica, que se reduce en este caso á un solo elemento de Bunsen.

2.ª Multiplicador de corriente de induccion.

3.ª Conductor metálico aislado con gutta-percha.

4.ª Cebos de mina, que por su inflamacion producen la de la pólvora.

La pila consta de un vaso de porcelana, un cilindro de zinc, un vaso de barro poroso y un prisma de carbon. El vaso se carga con agua acidulada por $^1/_8$ á $^1/_{10}$ de ácido sulfúrico, y en el vaso poroso en que se introduce el prisma de carbon se echa ácido nítrico. El cilindro de zinc y el prisma de carbon llevan piezas metálicas con sus llaves para establecer las comunicaciones.

El multiplicador consta de una barra cilíndrica formada de varios trozos de alambre de hierro de igual longitud, soldado por sus estremidades; al rededor de ella va arrollado un hilo de cobre de una línea próximamente de diámetro, aislado con seda y goma laca y que puede comunicar por medio de una pieza metálica con uno de los polos de la pila. Despues de dar 300 vueltas al rededor de la barra, termina en un martillo de hierro dulce que descansa sobre una columnita de metal. La parte superior de esta y la inferior del martillo están cubiertas de chapitas delgadas de platino para facilitar el contacto. Hay otro alambre de cobre que puede comunicar con el segundo polo de la pila, y termina en la parte inferior de la columnita.

Digitized by Google

Sobre el alambre anterior da 25 á 30000 vueltas otro de $^1/_6$ de línea próximamente y aislado del mismo modo; sus dos estremos comunican con dos vástagos de metal fijos por abrazaderas á una barra de vidrio; estos vástagos constituyen los polos de la corriente de induccion.

Cargada la pila y establecida la comunicacion con este aparato, se forman corrientes enérgicas, y cuando por medio del alambre se aproximan los dos polos, hay una sucesion rápida de chispas enérgicas que se trasmiten por los conductores metálicos, cuyos límites no se han podido determinar, conservando la intensidad suficiente para inflamar la pólvora.

El conductor eléctrico es un alambre de cobre rojo de $^3/_4$ de línea próximamente de diámetro, aislado con una ó dos capas de gutta-percha. Cuando está revestido con dos capas aislantes, la segunda ó esterior suele hallarse mezclada con 2 ó 3 centésimas de azufre á fin de que resulte mas inalterable y menos flexible. Tambien pueden revestirse de plomo los conductores. El diámetro total del conductor es de 3 á 4 líneas; para reunir los dos estremos se descubren quitando la gutta-percha en 2 ó 3 pulgadas; se limpian, se aplican uno con otro y se retuercen con alicates.

Los cebos eléctricos se componen de pequeños tubos de gutta-percha revestidos en su interior de sulfuro de cobre. Con este objeto se incorpora con aquella sustancia una décima parte de flor de azufre, se trabaja esta masa en caliente en una cápsula de porcelana puesta en baño de arenas hasta que adquiera la mezcla el mayor grado de homogeneidad posible; con esta pasta se cubren trozos de alambre de cobre de $1\ ^1/_2$ á 2 pies de longitud y del mismo diámetro que el del conductor; pasados algunos dias se sacan, estirando á lo largo el alambre, pequeños tubos de 4 ó 6 pulgadas de longitud, haciendo antes con un cuchillo las incisiones correspondientes. La capa de sulfuro de cobre adherida debe ser muy delgada y conviene ensayarla; se cortan en trozos de $^2/_3$ de pulgada, y hácia el medio se practican dos incisiones oblícuas.

Por otra parte se han cortado trozos de unas 12 pulgadas de

Digitized by Google

alambre de cobre revestido de gutta-percha, en que el espesor de la capa aislante es mucho menor que la del conductor eléctrico descrito; se descubren las estremidades de estos alambres, y despues de limpias y estañadas se introduce una de cada trozo por el tubito de gutta-percha, debiendo quedar separadas entre sí una ó dos líneas; luego se retuercen los alambres.

En tal estado quedan preparados los cabos para recibir el fulminato de mercurio, que debe desecarse de antemano por cortas porciones, para evitar accidentes: se amasa este con un poco de agua espesada con goma, y de esta pasta se van colocando pequeñas porciones (como una lenteja) entre las dos estremidades metálicas; se pone por encima un poco de polvorin, se deseca y queda terminado el cebo; mas para mayor seguridad debe encerrarse en un dedal de gutta-percha lleno de pólvora.

El método general de emplear los aparatos para la voladura de los hornillos ó barrenos es el siguiente:

Se supone colocado el aparato en el punto conveniente y el conductor tendido hasta el punto en que se ha de prender el hornillo ó barreno; se une la estremidad del conductor con una de las del cebo retorciéndolas una en otra ó sirviéndose de un tornillo de presion; la segunda estremidad del cebo se deja en comunicacion con la tierra por medio de un trozo de conductor aislado ó sin aislar de 4 á 5 pies de longitud, lo suficiente nada mas para que salga fuera de la caja que contiene la pólvora.

Para facilitar esta comunicacion con la tierra, ó el paso de la corriente eléctrica al depósito comun, se fija el estremo de este trozo de alambre á una aguja de hierro de un pie de longitud, estañada en su punta, que se introduce en el suelo. No habria inconveniente en suprimir esta aguja de hierro y clavar directamente en la tierra la estremidad del alambre. La del conductor principal próximo al aparato se fija á uno de los polos de la corriente de induccion; el segundo polo permanece en comunicacion constante con el suelo por medio de un pequeño trozo de alambre y una aguja de hierro.

Introducido el cebo en el centro de la pólvora y atracado el

Digitized by Google

hornillo sin necesidad de canales, se da fuego instantáneamente en cuanto se establece la comunicacion de la pila con el aparato, por medio de una llave al efecto. Tambien podrian producirse varias esplosiones simultáneas, haciendo comunicar los cebos entre sí, la estremidad del 1.° con el conductor principal y el último con la tierra. No hay límites conocidos de las distancias ni del número de los hornillos ó barrenos. . . . . .

Las ventajas principales de este sistema sobre los antiguos, son: obtener instantáneamente y con toda seguridad la inflamacion de la pólvora á largas distancias; pues la longitud disponible del conductor empleado y tendido en línea recta en los últimos esperimentos verificados en Guadalajara, era de 4000 varas: mayor comodidad que con las grandes pilas: uso de un solo conductor metálico aislado que no se altera y puede hasta pasar por debajo del agua: posibilidad de verificar esplosiones simultáneas: economía y facilidad de trasporte de los aparatos. . . . . .

TERCERA.

OBSERVACION SOBRE LOS DESMONTES EN CIERTA CLASE DE ROCAS.

Al tratar de los desmontes, se han esplicado los medios de verificarlos en los casos de ser de tierras ó rocas, y en este último se habló del empleo de barrenos y de la pólvora; sin embargo se olvidó indicar que existen casos en que no basta este medio, como son cuando el terreno está compuesto de rocas que suelen llamarse *recalcitrantes*; esta clase de rocas son las muy compactas, como el cuarzo y las piritas de hierro ó las de cobre en masas. En estos casos no es posible conseguir efecto por los barrenos y pólvora, y hay que desagregar la roca por la accion del fuego y despues desmontarla á pico. Para esto, se coloca en la parte que ha de atacarse una hoguera de modo que la llama dé á la masa de la roca que ha de desmontarse, teniéndola el tiempo suficiente para que pierda su cohesion y se agriete.

Digitized by Google

CUARTA.

CORRESPONDENCIA DE LOS PRINCIPALES PESOS Y MEDIDAS MÉTRICAS CON LAS USUALES ESPAÑOLAS.

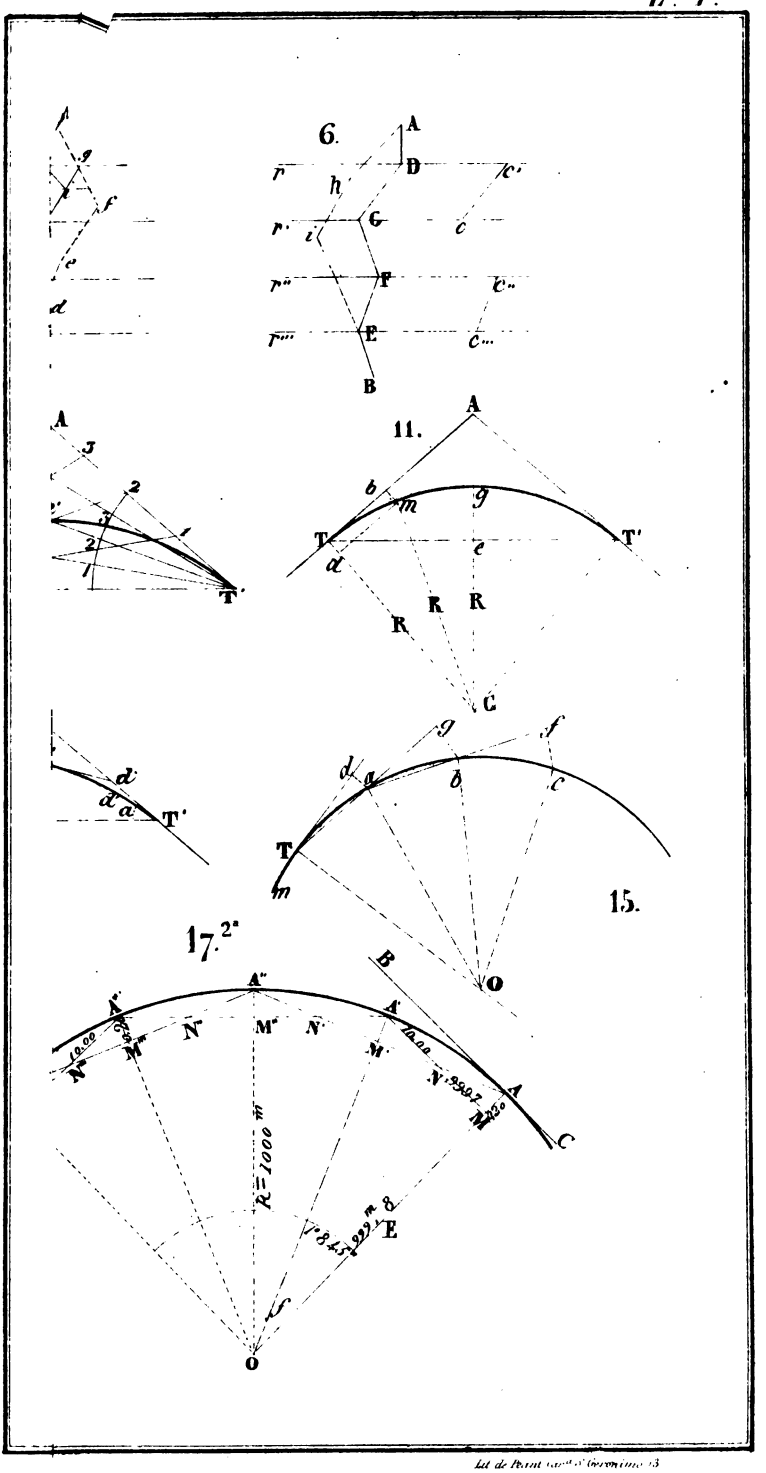
Metro lineal-	3,58892	pies castellanos.
Decímetro id..	4,3067	pulgadas id.
Centímetro id.	5,168	líneas id.
Metro cuadrado.	1,4315	varas cuadradas.
Decímetro id..	18,5477	pulgadas id.
Centímetro id.	26,7087	líneas id.
Metro cúbico.	46,2266	pies cúbicos.
Decímetro id.	79,8795	pulgadas id.
Centímetro id.	138,032	líneas id.
Litro.	1,98289	cuartillos.
Kilógrama.	2,17347	libras.
Hectógrama.	3,47756	onzas.
Decágrama.	5,56409	adarmes.
Grama.	20,031	granos.
Hectólitro.	1,79909	fanegas.

FIN.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

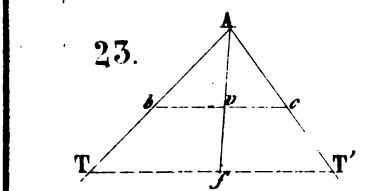


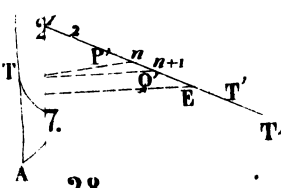
Lit de Peant Gar.d S.t Geronimo 13

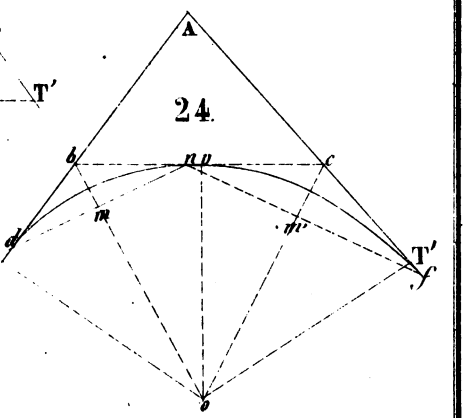
Digitized by Google

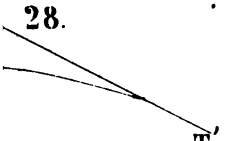
UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

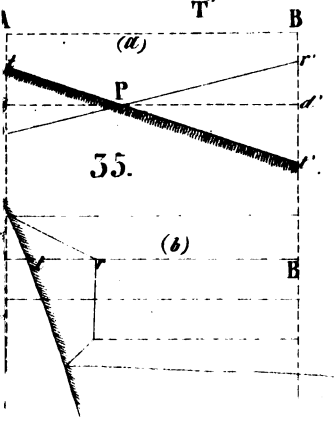
Digitized by Google

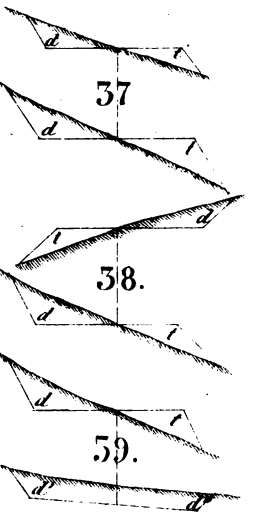


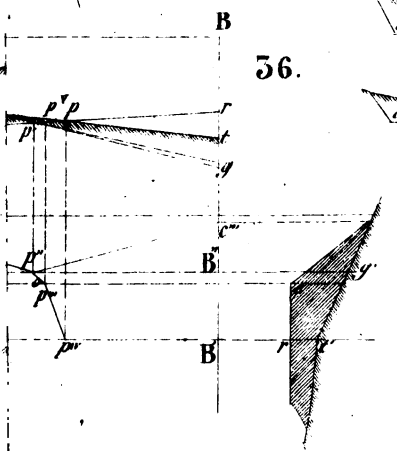


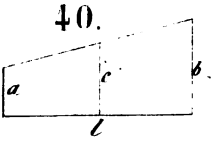


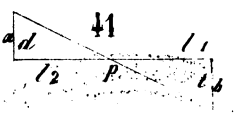








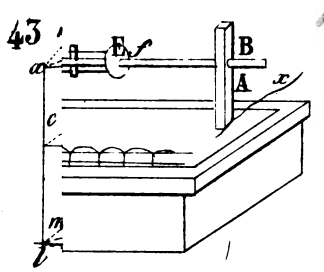


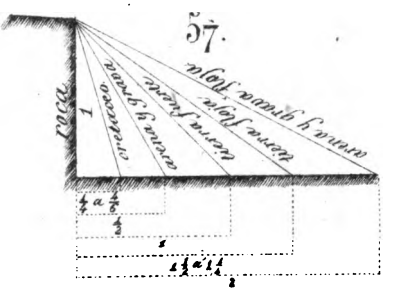


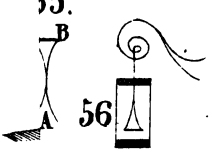
Digitized by Google

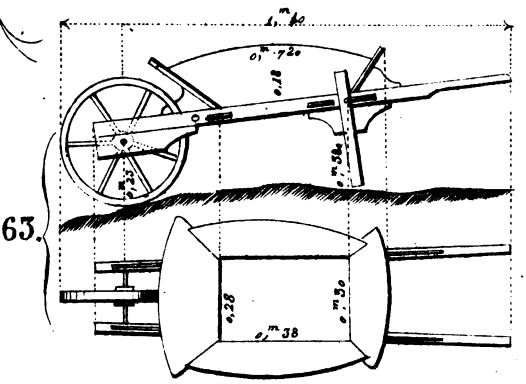
UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

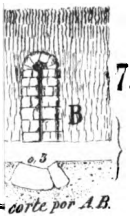
Digitized by Google

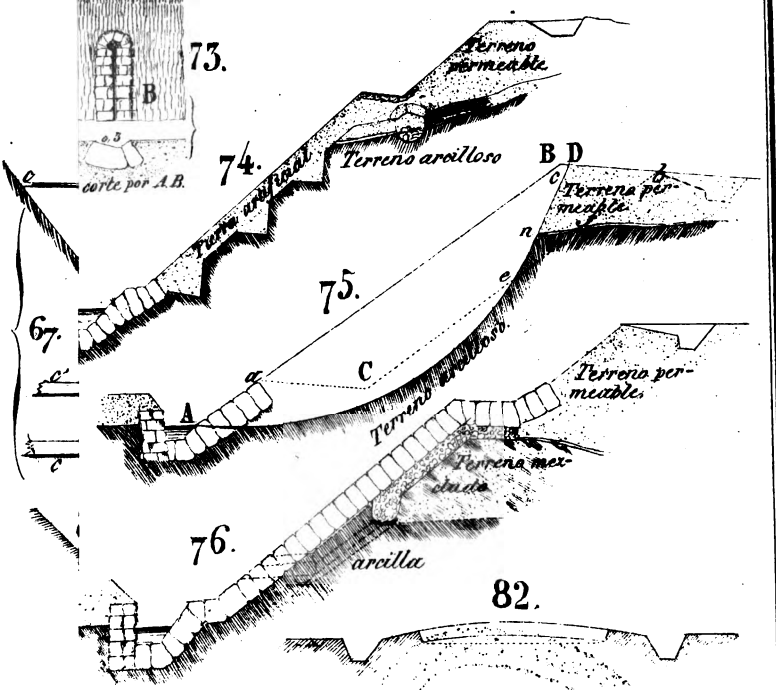








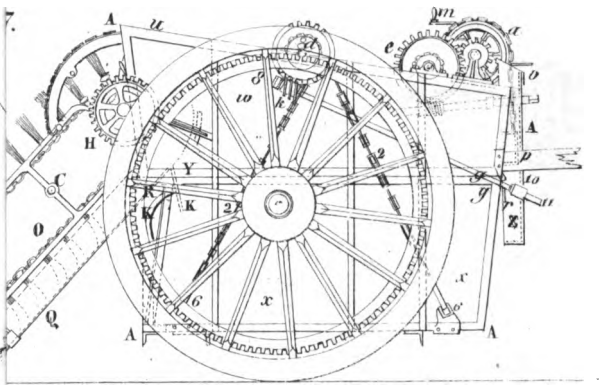




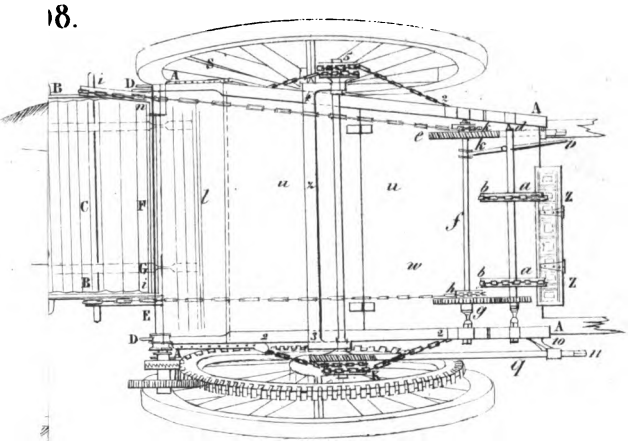
Digitized by Google

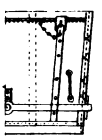
UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

Digitized by Google

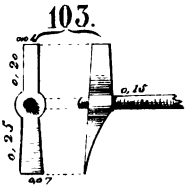


108.

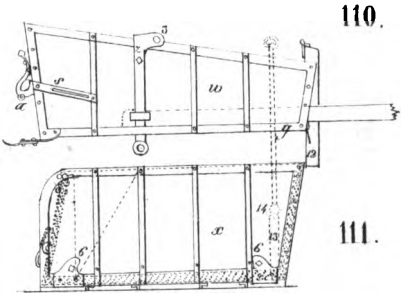




103.



110.

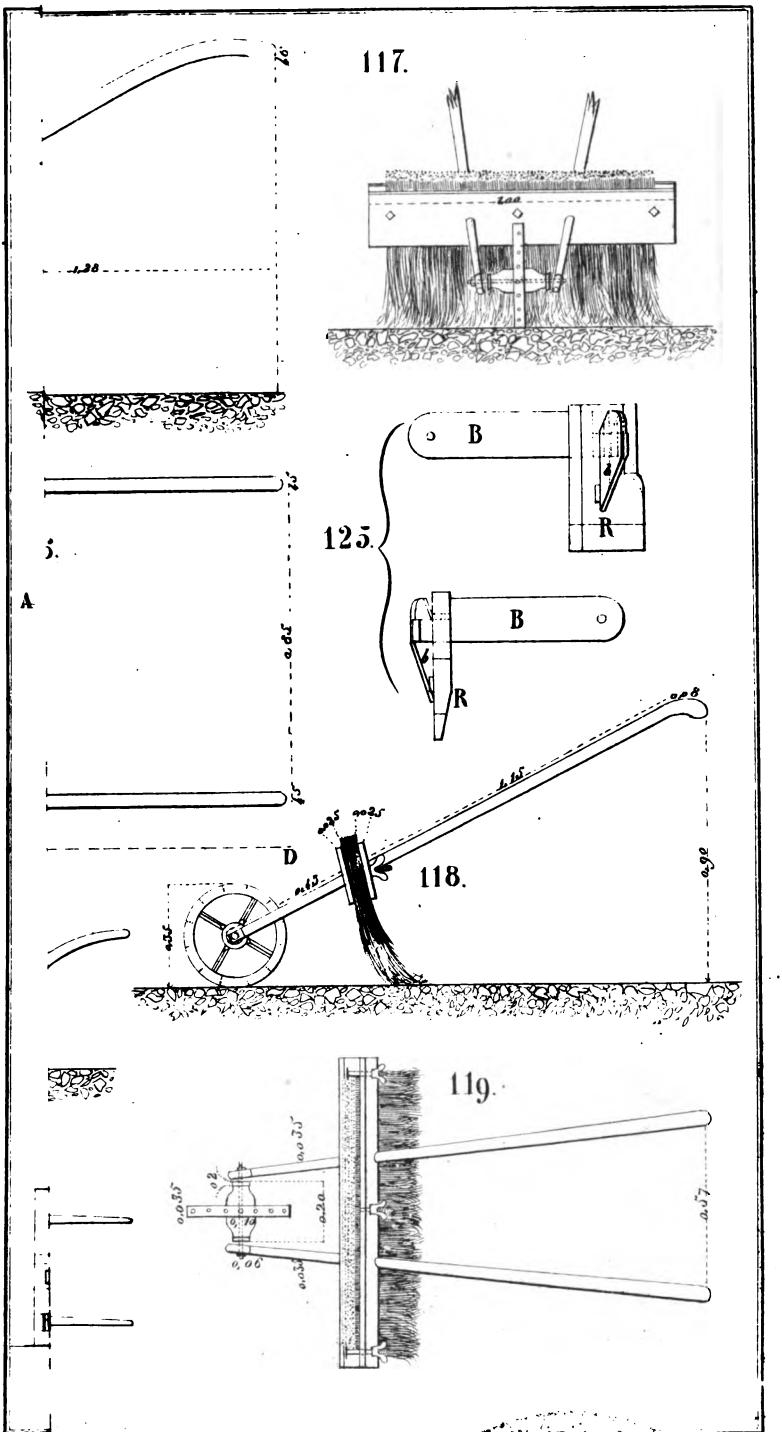


111.

Digitized by Google

UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

Digitized by Google

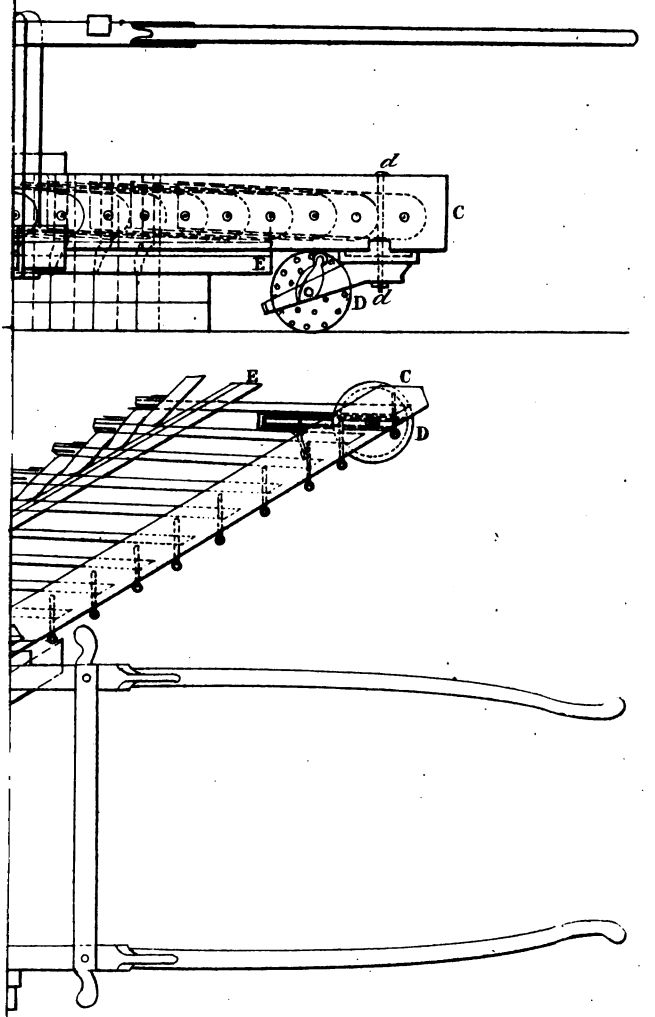


Digitized by Google

UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

Digitized by Google

ion vertical suponiendo quitadas las ruedas del carro y manibela del cabestante.



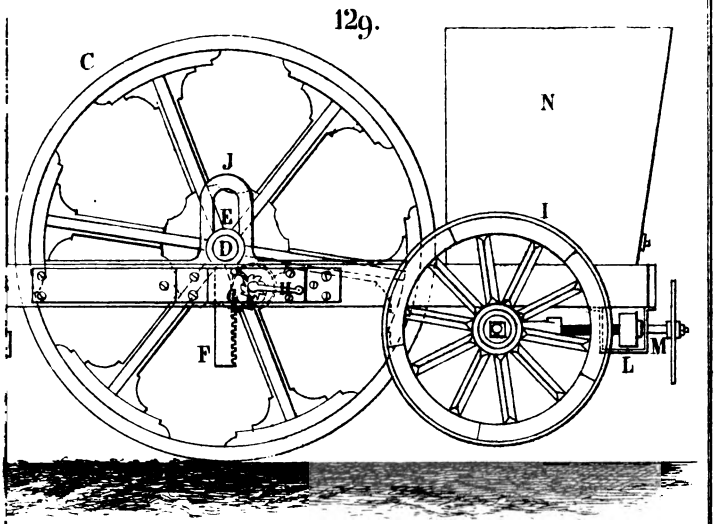
Lit. de Prat

Digitized by Google

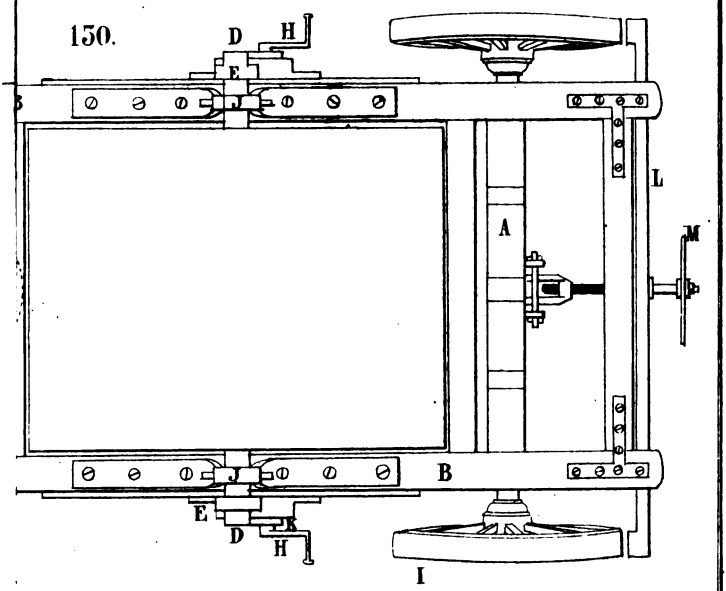
UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO

Digitized by Google

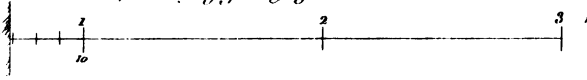
129.



130.



Escala para las fig.s 129 y 130.



Lit. de Peant

Digitized by Google

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
MADRID
UNIVERSIDAD CENTRAL
BIBLIOTECA
DERECHO
Digitized by Google

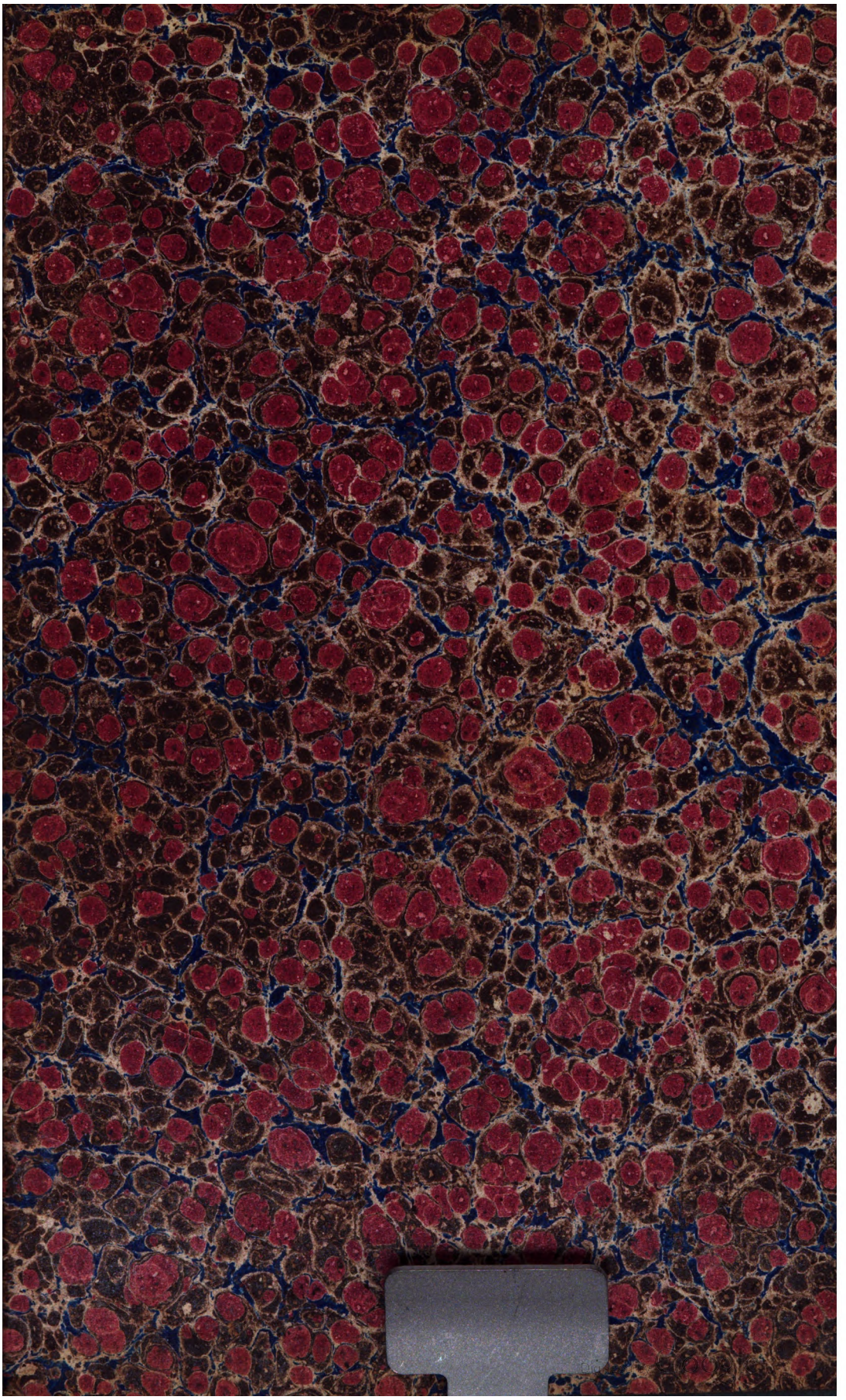
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google